



CENTER FOR EDUCATIONAL RESEARCH, LEARNING & INNOVATION

Un Futuro Sostenible Basado en la Educación Ambiental





CENTER FOR EDUCATIONAL RESEARCH, LEARNING & INNOVATION

UN FUTURO SOSTENIBLE BASADO EN LA EDUCACIÓN AMBIENTAL

RESUMEN

El deterioro acelerado del medio ambiente representa uno de los mayores desafíos de nuestro tiempo, y sus consecuencias ya alcanzan directamente a los sistemas educativos. Fenómenos climáticos extremos interrumpen la escolaridad de millones de estudiantes, exigen nuevas inversiones y obligan a repensar cómo construimos sistemas capaces de responder a un entorno cada vez más exigente.

En CERLI, analizamos la relación entre educación y sostenibilidad separando la evidencia científica de la exageración, revisando los principales debates ambientales y estudiando los modelos educativos propuestos para responder a ellos. A partir de este análisis, buscamos comprender cómo la educación ambiental puede trascender el conocimiento teórico y convertirse en una herramienta real para construir sociedades más sostenibles.

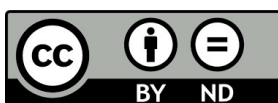




© CERLI, 2026

«Center for Educational Research, Learning & Innovation (CERLI) (2026). Un Futuro Sostenible Basado en la Educación Ambiental.»

Un Futuro Sostenible Basado en la Educación Ambiental © 2025-2026 de CERLI está bajo una licencia CC BY-ND 4.0. Para consultar una copia de esta licencia, visite <https://creativecommons.org/licenses/by-nd/4.0/>.



Para obtener más información acerca de este informe, o cualquier otro publicado por CERLI, comunicarse a través del correo info@cerliorg.com, o con el Departamento de Educación edu@cerliorg.com



A nuestros lectores,

Hablar de sostenibilidad se ha vuelto sorprendentemente difícil. El cambio climático, la contaminación, la pérdida de ecosistemas, los residuos, y nuestras formas de consumo aparecen constantemente en discursos públicos, campañas, noticias, y conversaciones cotidianas. Esa presencia permanente ha conseguido que muchas personas conozcan mejor los problemas ambientales, pero también ha creado un espacio donde conviven información rigurosa, simplificaciones útiles, exageraciones, intereses económicos, posiciones éticas, y mensajes diseñados para producir una reacción antes que una reflexión.

Este informe nació precisamente de esa incomodidad. En CERLI queríamos entender qué parte de aquello que repetimos sobre sostenibilidad se encuentra sólidamente respaldada por la evidencia, qué afirmaciones necesitan contexto, y cuáles terminan deformándose cuando abandonan el ámbito científico. Por eso comenzamos lejos de las aulas. Revisamos cambio climático, huella de carbono, gestión de residuos, contaminación plástica, residuos electrónicos, protección de ecosistemas, y algunas de las controversias que suelen aparecer alrededor de estos temas.

El recorrido nos llevó después hacia la pregunta que realmente pertenece a nuestro campo: ¿qué hacemos con todo este conocimiento desde la educación? Informar a un estudiante sobre un problema ambiental es relativamente sencillo. Conseguir que pueda comprender sus causas, interpretar datos contradictorios, relacionar distintas áreas del conocimiento, evaluar posibles soluciones, y utilizar aquello aprendido cuando desaparece la evaluación escolar representa un desafío mucho más interesante. Allí encontramos el verdadero propósito de la educación ambiental: desarrollar capacidades que permitan enfrentarse a problemas complejos sin reducirlos a consignas.

También quisimos mantener una idea presente durante todo el informe. La gravedad de un problema no nos obliga a exagerarlo. Podemos hablar con claridad sobre riesgos ambientales importantes, reconocer incertidumbres cuando existen, cuestionar argumentos débiles incluso cuando provienen de causas con las que simpatizamos, y confiar en que un lector bien informado puede construir sus propias conclusiones. Para CERLI, educar implica justamente eso: entregar herramientas suficientemente buenas como para que el conocimiento sobreviva incluso cuando deja de coincidir cómodamente con nuestras expectativas. Esperamos haberlo logrado.

Tabla de Contenidos

Introducción	6
La era de la conciencia ambiental	8
Cambio climático y la huella de carbono	11
Gestión de residuos	27
Basura no reciclable	32
Residuos plásticos	36
Residuos electrónicos	41
Protección de los ecosistemas	47
Polémicas sobre la sostenibilidad	53
Fundamentos de la educación ambiental	72
Un modelo educativo verde	79
Educación para el desarrollo sostenible	87
Monitoreo educativo ambiental	99
Referentes internacionales	106
UNESCO	109
The Nature Conservancy	112
Global Footprint Network	115
Epílogo	118
Bibliografía	121



Introducción

Dentro de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, compuesta por 17 objetivos y 169 metas orientadas a erradicar la pobreza, promover la paz y la prosperidad y proteger el planeta, encontramos varios compromisos particularmente relevantes para la educación mundial. Uno de los más importantes es la meta 4.7, aprobada por la Asamblea General de las Naciones Unidas en 2015:

“De aquí a 2030, asegurar que todos los alumnos adquieran los conocimientos teóricos y prácticos necesarios para promover el desarrollo sostenible, entre otras cosas mediante la educación para el desarrollo sostenible y la adopción de estilos de vida sostenibles, los derechos humanos, la igualdad entre los géneros, la promoción de una cultura de paz y no violencia, la ciudadanía mundial y la valoración de la diversidad cultural y de la contribución de la cultura al desarrollo sostenible”

- Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible (Resolución A/RES/70/1, 2015).

Cuando hablamos de esta meta, solemos prestar especial atención a los derechos humanos, la igualdad, la ciudadanía mundial o la cultura de paz. Sin embargo, hay otro componente igualmente importante que a veces queda relegado: la adopción de estilos de vida sostenibles. Esto incluye el consumo responsable de recursos, la reducción de residuos, la gestión de nuestra huella ambiental y muchas otras variables relacionadas con la forma en que interactuamos con el planeta.

Pero aquí aparece una pregunta mucho más interesante: ¿qué queremos decir realmente cuando hablamos de enseñar sostenibilidad? No se trata únicamente de incorporar conceptos aislados sobre energías renovables, reciclaje o ecosistemas. Se trata de construir una conciencia crítica que permita a los estudiantes comprender la relación entre sus decisiones cotidianas, los sistemas de los que forman parte y los grandes desafíos ambientales.

La Agenda 2030 invita a repensar los currículos en pos de una transformación cultural, en un momento histórico en el que las cuestiones ambientales ocupan un lugar cada vez más visible en la vida cotidiana, el debate público y las preocupaciones de las nuevas generaciones. Por lo tanto, nuestro desafío desde la educación es lograr que el aprendizaje abandone los límites del aula y alcance la vida cotidiana; que cada estudiante comprenda la sostenibilidad lo suficiente como para construir, de manera consciente, su propia relación con ella.

Este proceso no puede darse de forma aislada. Requerirá la articulación entre las instituciones educativas, las políticas públicas, las familias y las comunidades, con el objetivo de generar un impacto que sobreviva más allá del aula. En CERLI, asumimos este compromiso como una responsabilidad educativa, ética y social. Estamos convencidos de que la educación ambiental debe trascender el plano teórico y convertirse en una presencia cotidiana dentro de nuestros sistemas educativos.

Por eso, a lo largo de este informe proponemos entender la sostenibilidad no como una asignatura aislada, sino como un eje capaz de atravesar diferentes áreas del conocimiento. Un enfoque desde el cual cada instancia educativa puede convertirse en una oportunidad para comprender nuestro entorno, cuestionar nuestras decisiones y explorar nuevas formas de relacionarnos con el planeta.

La era de la conciencia ambiental

Las sociedades contemporáneas enfrentan una combinación de presiones ambientales estrechamente vinculadas con nuestros sistemas de energía, producción y consumo. El cambio climático, la pérdida de biodiversidad y distintas formas de contaminación ya producen consecuencias observables sobre ecosistemas y poblaciones humanas en diferentes regiones del planeta.

Al mismo tiempo, la historia demuestra que los grandes desafíos tecnológicos y sociales pueden generar transformaciones profundas. La expansión de las energías de bajas emisiones, una mayor eficiencia en el uso de recursos, la innovación tecnológica y nuevos modelos de producción ofrecen herramientas para reducir parte de estas presiones sin renunciar al desarrollo humano. Como ocurre con otras transformaciones sociales, la educación posee aquí un papel fundamental.

El problema, entonces, no está en elegir entre desarrollo y sostenibilidad, sino en descubrir cómo hacer compatibles ambas cosas. Durante siglos utilizamos nuestro conocimiento para ampliar los límites de lo posible; ahora tendremos que utilizar ese mismo ingenio para revisar algunas de las consecuencias que ese progreso dejó detrás. Y, como ocurre con cualquier transformación que pretenda sobrevivir más de una generación, la educación tendrá un papel fundamental.

A diferencia de otras grandes transformaciones tecnológicas, el desafío actual también nos obliga a repensar ciertos fundamentos de nuestra forma de producir, consumir y desarrollarnos. Y existe una

oportunidad interesante: las cuestiones ambientales ocupan hoy un espacio mucho mayor en la vida cotidiana y en las preocupaciones de las nuevas generaciones, que crecen rodeadas de debates sobre cambio climático, contaminación, biodiversidad y consumo responsable.

Aprender sobre estilos de vida sostenibles implica, por definición, comprender primero el problema que intentamos resolver. Después de todo, resulta difícil interesarnos verdaderamente por algo que no comprendemos. Y es aquí donde nace una enorme oportunidad para la educación: en lugar de presentar estas cuestiones como conceptos teóricos y abstractos, tradicionalmente confinados a asignaturas como las ciencias naturales, podemos convertirlas en problemas reales y tangibles. A los estudiantes les mostraremos un problema, y les daremos las herramientas necesarias para permitirles comprender sus causas, y así explorar alternativas. Algunas serán mejores que otras, algunas incluso fracasarán, pero justamente allí aparece una parte muy valiosa del aprendizaje.

Los proyectos que involucran a los estudiantes como participantes reales de su comunidad poseen un atractivo particular: dejan de pedirles únicamente que aprendan sobre un problema y comienzan a invitarlos a intentar resolverlo. Por supuesto, nadie espera que un escolar encuentre por sí solo la solución al cambio climático, la contaminación de los océanos o la pérdida de biodiversidad. Pero tampoco es ese el verdadero objetivo.

Lo importante está en el proceso. Investigar un problema, descubrir que posee más variables de las que parecía, discutir alternativas, equivocarse y volver a intentarlo ayuda a desarrollar creatividad, pensamiento crítico y una mirada transversal. A largo plazo, esas mismas capacidades podrán acompañar a los estudiantes cuando posean conocimientos mucho más técnicos y herramientas capaces de transformar una buena idea en una verdadera innovación.

De algún modo, estamos frente a un espejo de nuestra propia historia. Así como nuestras decisiones en el pasado definieron el lugar que ocupamos en el planeta, las de hoy definirán si logramos conservarlo. El

ser humano, con su ingenio sin igual, ha demostrado ser capaz de transformar la adversidad en oportunidad. La gran incógnita es si esta vez tendremos la madurez suficiente para hacerlo no solo en beneficio de nuestra especie, sino también de toda la vida que comparte con nosotros este mundo. Ser capaces de dar un paso tan importante como sociedad significaría demostrar que nuestro progreso no necesita producirse a costa del entorno que lo hace posible.

¿Seremos capaces de anteponer nuestro futuro colectivo a algunos de nuestros intereses inmediatos? En CERLI siempre hemos sido optimistas respecto al potencial humano, y creemos firmemente que la educación es una de las mejores herramientas que tenemos para desarrollarlo. Y aunque este optimismo pueda ser tildado de ingenuidad, basta mirar lo que ocurre dentro y fuera de las aulas para encontrar experiencias donde los jóvenes transforman lo teórico en acción, y donde proyectos escolares aparentemente pequeños terminan involucrando a comunidades enteras.

Sabemos de primera mano que formar ciudadanos comprometidos con el entorno, con capacidad de pensar globalmente y actuar localmente, es la inversión más valiosa que la humanidad puede hacer por su propio futuro. ¿Y cómo no soñar con un futuro sostenible y consciente? La educación ha funcionado como herramienta de transformación en entornos mucho menos predispuestos al cambio, aunque es cierto que nunca nos enfrentamos a una carrera contrarreloj.

El desafío es grande, el tiempo apremia, y nosotros estamos dispuestos a dar nuestro granito de arena. Así que comencemos esta travesía por la educación sostenible desde el punto más lógico: comprender exactamente a qué nos enfrentamos. ¿Cuáles son los principales desafíos ambientales de nuestro tiempo?

Cambio climático y la huella de carbono

A lo largo de nuestra historia como especie, buena parte de nuestros grandes avances han estado ligados a una misma capacidad: encontrar nuevas formas de aprovechar la energía disponible. Primero utilizamos nuestro propio esfuerzo y el de otros animales; después aprendimos a dominar el fuego, el viento, y el agua. Con el tiempo, incorporamos fuentes capaces de alimentar máquinas cada vez más complejas.

Esta relación entre energía y desarrollo no es casual. Cuanta más energía somos capaces de obtener y controlar, más complejas pueden volverse nuestras herramientas, nuestras industrias, y nuestras sociedades. El problema aparece cuando aquello que permitió acelerar nuestro progreso comienza, al mismo tiempo, a generar consecuencias que no habíamos previsto.

Por este motivo, muchos de los grandes cambios en nuestra forma de vivir estuvieron acompañados por nuevas maneras de obtener, transformar, o utilizar energía. La domesticación de animales multiplicó nuestra capacidad de trabajo; el fuego nos permitió producir calor y transformar materiales; el viento impulsó embarcaciones y molinos; y el agua se convirtió en fuerza motriz mucho antes de que existieran las redes eléctricas modernas. Cada uno de estos avances permitió realizar tareas con mayor rapidez, producir más, y ampliar las posibilidades de nuestras sociedades. Durante buena parte de nuestra historia, esa relación entre mayor disponibilidad de energía y mejores condiciones materiales pareció tener únicamente ventajas.

Sin embargo, esta relación se volvió mucho más evidente a partir del siglo XVIII, con la Revolución Industrial. Las máquinas de vapor ya existían, pero las mejoras introducidas durante aquel periodo, incluyendo las desarrolladas por James Watt, permitieron aprovecharlas con mucha mayor eficiencia y extender su utilización a la industria, la minería, y el transporte.

El siguiente gran salto llegó con la expansión del uso de otros combustibles fósiles. El carbón ya ocupaba un lugar central, y a este se sumaron progresivamente el petróleo y el gas natural. Los tres terminaron convirtiéndose en pilares de las economías modernas por su densidad energética, facilidad de transporte, y enorme versatilidad. El petróleo, por ejemplo, permitió alimentar motores de combustión interna y transformar el transporte mundial. También abrió las puertas a la industria petroquímica, de la que surgirían plásticos, fertilizantes, fibras sintéticas, medicamentos, y una enorme variedad de productos que hoy forman parte de nuestra vida cotidiana.

El éxito de este modelo fue tan grande que, en apenas unas generaciones, los combustibles fósiles dejaron de ser una ventaja tecnológica para convertirse en la base energética de buena parte del mundo moderno. A partir del siglo XIX, y con mucha mayor intensidad durante el XX, nuestras economías se volvieron profundamente dependientes de los combustibles fósiles. Las fábricas, los medios de transporte, buena parte de la generación eléctrica, y numerosos procesos de la agricultura moderna comenzaron a sostenerse sobre la capacidad de extraer, transportar, y consumir carbón, petróleo, y gas.

Durante mucho tiempo, las consecuencias ambientales de este modelo fueron poco comprendidas, difíciles de observar a escala global, o sencillamente relegadas frente a sus enormes beneficios económicos y tecnológicos. Pero mientras utilizábamos esos combustibles para expandir los límites de la producción y del confort humano, también liberábamos a la atmósfera, en un periodo extraordinariamente corto, carbono que había permanecido almacenado bajo tierra durante millones de años.

Allí aparece el monstruo que no vimos crecer. Las mismas fuentes de energía que hicieron posible buena parte del mundo moderno se convirtieron también en la principal causa del calentamiento global actual que hoy intentamos contener. A este fenómeno lo denominamos cambio climático antropogénico: una alteración sostenida del sistema climático causada por la actividad humana, principalmente por la emisión de gases de efecto invernadero desde el comienzo de la industrialización. La palabra antropogénico significa “originado por la actividad humana”, y es muy importante incluirla al hablar del cambio climático porque el clima de la Tierra siempre ha cambiado de forma natural.

La pregunta que nos interesa responder es otra: ¿por qué está cambiando ahora, a esta velocidad, y en la dirección que observamos? Y, lo más importante: ¿por qué deberíamos preocuparnos si es algo natural? El clima de la Tierra nunca ha sido estático. A lo largo de millones de años ha cambiado por variaciones en la órbita terrestre, modificaciones en la actividad solar, grandes episodios volcánicos, cambios en la composición de la atmósfera, y numerosas interacciones entre los océanos, los continentes, y los seres vivos. Algunos de estos procesos fueron lentos; otros produjeron transformaciones mucho más abruptas, con consecuencias profundas para los ecosistemas.

La pregunta importante aparece cuando observamos el calentamiento actual. Su velocidad, su distribución, y las modificaciones atmosféricas que lo acompañan no pueden explicarse mediante los factores naturales conocidos. Cuando incorporamos la actividad humana, especialmente el aumento de gases de efecto invernadero desde la industrialización, las piezas comienzan a encajar. La evidencia disponible ha llevado a la comunidad científica a atribuir inequívocamente a la influencia humana el calentamiento observado desde mediados del siglo XX.

Pero no nos adelantemos, y comencemos por el principio. ¿Cómo puede modificarse el clima de un planeta entero? Pensemos en el sistema climático como un enorme equilibrio de energía. La Tierra recibe energía del Sol, absorbe una parte, y devuelve otra hacia el

espacio. Cualquier fenómeno capaz de alterar de forma sostenida ese balance puede empujar al clima hacia un estado diferente. A estos impulsos iniciales se los conoce como forzamientos climáticos.

A partir de ahí aparecen las retroalimentaciones. Una modificación inicial puede desencadenar otros procesos que amplifiquen o reduzcan su efecto. Por ejemplo, un aumento de gases de efecto invernadero dificulta la pérdida de calor hacia el espacio, elevando la temperatura. Ese calentamiento puede reducir la extensión de nieve y hielo, dejando expuestas superficies más oscuras que absorben una mayor cantidad de energía solar. Como resultado, la temperatura vuelve a aumentar, acelerando nuevamente el deshielo. Es esta capacidad de reaccionar en cadena la que vuelve el sistema climático tan complejo. Un cambio inicial puede activar mecanismos que continúen modificando el planeta mucho después de haber comenzado.

¿Qué es eso del ciclo del carbono? Veámoslo con un ejemplo. Supongamos que tenemos un bosque, repleto de plantas y árboles que, mediante la fotosíntesis, absorben dióxido de carbono de la atmósfera, incorporando ese carbono a sus troncos, hojas, raíces, y demás tejidos. Ese carbono no permanece allí eternamente. Las propias plantas liberan una parte mediante la respiración, y cuando hojas, ramas, animales, o árboles mueren, los organismos descomponedores devuelven progresivamente parte del carbono a la atmósfera. Otra fracción queda almacenada durante distintos periodos en los suelos. Mientras el bosque continúa creciendo, muriendo, y regenerándose, el carbono circula continuamente entre la atmósfera, los organismos, y el suelo.

Los combustibles fósiles pertenecen a una escala completamente diferente. Para que una pequeña fracción de materia orgánica termine convertida en carbón, petróleo, o gas, debe quedar enterrada y preservada bajo condiciones geológicas particulares durante millones de años. En el caso del petróleo, gran parte se origina a partir de materia orgánica acumulada en antiguos sedimentos marinos o lacustres, que posteriormente atraviesa largos procesos de enterramiento, presión, y temperatura. Por eso, el petróleo que extraemos hoy no es simplemente el resultado de árboles que murieron y quedaron enterrados en un

bosque. Es carbono antiguo, almacenado mediante procesos geológicos extraordinariamente lentos.

Ahora imaginemos que la temperatura comienza a aumentar. Una de las primeras retroalimentaciones que podemos visualizar aparece en las regiones cubiertas por nieve y hielo. Como sus superficies son claras, reflejan una parte importante de la radiación solar hacia el espacio. Cuando disminuyen, dejan al descubierto océanos, suelos, y rocas mucho más oscuros, capaces de absorber una mayor cantidad de energía. El resultado es sencillo: cuanto más hielo perdemos, más energía absorbe la superficie, y más fácil resulta continuar calentándola.

Otro proceso importante ocurre en el permafrost, los suelos que permanecen congelados durante periodos extremadamente largos en las regiones frías del planeta. Estos almacenan enormes cantidades de materia orgánica. A medida que se descongelan, los microorganismos pueden comenzar a descomponer ese material y liberar parte de su carbono en forma de dióxido de carbono y metano. Ambos contribuyen nuevamente al calentamiento, alimentando otra retroalimentación. La intensidad, velocidad, y reversibilidad de estos procesos varían considerablemente. Algunos responden gradualmente al calentamiento, mientras que otros pueden acercarse a umbrales a partir de los cuales recuperar el estado anterior resulta extremadamente difícil durante escalas de tiempo humanas. Volveremos sobre estos llamados puntos de inflexión más adelante.

En la actualidad, contamos con múltiples formas de reconstruir y medir la evolución de la temperatura terrestre. Los registros instrumentales modernos pueden complementarse con información obtenida de núcleos de hielo, sedimentos, corales, anillos de árboles, y otros indicadores naturales que permiten observar cómo cambió el clima mucho antes de que existieran los termómetros.

Al comparar toda esta información aparece una señal difícil de ignorar: el planeta se está calentando rápidamente. Los científicos han estudiado las principales explicaciones naturales que conocemos, incluyendo cambios en la actividad solar, grandes erupciones

volcánicas, variaciones orbitales, y dinámicas internas de los océanos. Ninguna de ellas permite reproducir por sí misma la tendencia de calentamiento observada durante las últimas décadas. Cuando incorporamos el efecto de las emisiones humanas de gases de efecto invernadero, en cambio, los modelos logran reproducir mucho mejor la evolución observada de las temperaturas. Esta coincidencia entre mediciones, física atmosférica, registros históricos, y modelos climáticos constituye una de las principales líneas de evidencia sobre el origen antropogénico del calentamiento actual.

Al medir la evolución del dióxido de carbono atmosférico, vemos que su concentración ha aumentado rápidamente desde la Revolución Industrial. Pero hay algo todavía más interesante: la atmósfera conserva una especie de huella digital que nos permite investigar de dónde proviene buena parte de ese carbono adicional. El carbono aparece en la naturaleza principalmente en forma de tres isótopos: carbono-12, carbono-13, y carbono-14. Los dos primeros son estables, mientras que el carbono-14 es radiactivo y se desintegra gradualmente con el paso del tiempo. Las plantas, durante la fotosíntesis, incorporan proporcionalmente algo más de carbono-12 que de carbono-13, por lo que la materia orgánica termina teniendo una composición isotópica ligeramente diferente a la del carbono atmosférico.

Los combustibles fósiles conservan parte de esa firma. El carbón, el petróleo, y el gas provienen de materia orgánica extremadamente antigua, por lo que presentan una proporción relativamente baja de carbono-13. Además, después de millones de años bajo tierra, prácticamente todo su carbono-14 ha tenido tiempo suficiente para desintegrarse. Esto significa que el carbono fósil posee una combinación muy particular: es relativamente pobre en carbono-13, y prácticamente carece de carbono-14.

Y aquí aparece una pista extraordinaria. A medida que aumentó la concentración de CO_2 en nuestra atmósfera, también disminuyó la proporción relativa de carbono-13 y se produjo una dilución del carbono-14. Es exactamente el comportamiento que esperaríamos si

enormes cantidades de carbono fósil estuvieran siendo incorporadas al aire.

A esto se suman otras evidencias, como el descenso observado en la concentración atmosférica de oxígeno, provocado por la combustión. Por separado, ninguna de estas señales cuenta toda la historia. Juntas, funcionan como piezas de un mismo rompecabezas. El aumento moderno del dióxido de carbono atmosférico lleva claramente la firma de la combustión de combustibles fósiles.

¿Recuerdan el ejemplo del árbol? Pensemos ahora en dos depósitos de carbono completamente diferentes. Por un lado, tenemos el árbol, que durante su crecimiento tomó carbono de la atmósfera mediante la fotosíntesis. Si lo quemamos, gran parte de ese carbono regresará rápidamente al aire en forma de dióxido de carbono. Si posteriormente permitimos que el bosque se regenere, nuevos árboles podrán volver a capturar una parte de ese carbono durante su crecimiento.

Con los combustibles fósiles ocurre algo diferente. Cuando extraemos petróleo, carbón, o gas, estamos recuperando carbono que permaneció apartado del ciclo superficial durante millones de años. Al quemarlo, lo devolvemos a la atmósfera en cuestión de horas. El problema aparece entonces en la velocidad y en el balance: estamos incorporando carbono antiguo mucho más rápido de lo que los océanos, los suelos, y la vegetación pueden retirarlo nuevamente del aire. Esta es una de las razones por las que la concentración atmosférica de CO_2 continúa aumentando incluso mientras los ecosistemas y los océanos absorben enormes cantidades de carbono cada año.

El carbono, sin embargo, es apenas una parte de una maquinaria mucho mayor. Nuestra actividad también modifica otros ciclos naturales, y uno de los más importantes para comprender la agricultura moderna es el ciclo del nitrógeno. Las grandes extensiones dedicadas repetidamente a un mismo cultivo pueden generar problemas cuando el sistema agrícola extrae determinados nutrientes más rápido de lo que estos se recuperan. A esto se suman la erosión, la pérdida de materia orgánica, la compactación, el manejo del agua, y muchas otras variables

que determinan la salud de un suelo. El monocultivo puede agravar algunos de estos procesos, especialmente cuando se combina con prácticas de manejo poco sostenibles.

Para mantener una alta productividad, la agricultura moderna utiliza fertilizantes capaces de devolver al suelo nutrientes esenciales para las plantas. Entre los más importantes se encuentran los fertilizantes nitrogenados, como la urea ($\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$) y el nitrato de amonio (NH_4NO_3). Su utilización permitió aumentar extraordinariamente la producción mundial de alimentos, aunque también introdujo nuevos desafíos ambientales cuando el nitrógeno aplicado supera la cantidad que los cultivos pueden aprovechar.

Las plantas absorben una parte del nitrógeno disponible, pero el sistema rara vez logra aprovecharlo en su totalidad. Una fracción permanece en el suelo, otra puede desplazarse junto con el agua, y otra entra en una serie de transformaciones protagonizadas principalmente por microorganismos. Dos de esos procesos se conocen como nitrificación y desnitrificación. Durante ellos, el nitrógeno cambia entre distintas formas químicas, y una parte puede terminar liberándose a la atmósfera como óxido nitroso (N_2O). Este gas aparece en concentraciones mucho menores que el dióxido de carbono, pero posee una capacidad muy elevada para contribuir al efecto invernadero.

Por esta razón, la aplicación de fertilizantes nitrogenados debe manejarse cuidadosamente. Utilizar más nitrógeno del que un cultivo necesita puede aumentar las pérdidas hacia la atmósfera y el agua sin producir una mejora equivalente en la cosecha. Por ejemplo, una parte de estos nutrientes puede seguir otro camino. La lluvia, el riego, y el drenaje transportan nitrógeno y fósforo desde los suelos agrícolas hacia arroyos, ríos, lagos, y zonas costeras. Cuando llegan en cantidades demasiado altas, pueden provocar un fenómeno conocido como eutrofización.

El exceso de nutrientes estimula el crecimiento desproporcionado de algas y otros organismos fotosintéticos. El verdadero problema aparece después. Cuando esa biomasa muere, los microorganismos encargados

de descomponerla consumen grandes cantidades del oxígeno disuelto en el agua. Si el proceso alcanza suficiente intensidad, comienzan a formarse zonas con concentraciones de oxígeno demasiado bajas para sostener normalmente a peces, crustáceos, y muchos otros organismos. Un fertilizante que inicialmente buscaba aumentar la productividad de un cultivo puede terminar entonces alterando un ecosistema situado kilómetros más adelante. Es otro buen ejemplo de una idea que aparecerá repetidamente a lo largo de este informe: los sistemas naturales están conectados, y nuestras intervenciones rara vez terminan exactamente en el lugar donde comenzaron.

Como pueden observar, una misma actividad humana puede alterar varios ciclos naturales al mismo tiempo, generando efectos que interactúan entre sí y pueden amplificar el cambio climático. Y aunque comprendemos cada vez mejor estos mecanismos, todavía existen incertidumbres importantes sobre la magnitud de algunas consecuencias y sobre el momento exacto en que determinados componentes del sistema climático podrían alcanzar umbrales críticos. Esto resulta especialmente importante cuando hablamos de los llamados puntos de inflexión: cambios capaces de modificar profundamente un sistema y dificultar, durante periodos muy prolongados, su regreso al estado anterior. No conocemos con precisión dónde se encuentran todos esos límites, y justamente por eso resulta prudente evitar acercarnos innecesariamente a ellos.

Si hemos podido concluir que el cambio climático actual tiene sus raíces principalmente en las actividades humanas, entonces nuestra respuesta debe concentrarse en reducir las emisiones y las alteraciones ambientales que lo alimentan. Esto puede implicar sustituir determinadas tecnologías, mejorar la eficiencia de otras, modificar prácticas productivas, proteger ecosistemas capaces de almacenar carbono, y desarrollar mecanismos para retirar parte del dióxido de carbono que ya hemos incorporado a la atmósfera.

De aquí surge el concepto de cero neto. Alcanzarlo no implica eliminar absolutamente todas las emisiones humanas. La meta consiste en reducirlas profundamente y conseguir que las emisiones residuales que

todavía permanezcan sean compensadas por una cantidad equivalente de dióxido de carbono retirado de la atmósfera. Por esta razón, muchas estrategias climáticas combinan reducciones de emisiones con la conservación y expansión de sumideros de carbono.

También existen regulaciones y sistemas de certificación ambiental destinados a establecer criterios sobre cómo deben realizarse determinadas actividades productivas. Su utilidad depende de los estándares utilizados, de los controles aplicados, y de la capacidad para verificar que las prácticas declaradas realmente se cumplan. El sector forestal ofrece un buen ejemplo. Existen sistemas de certificación que evalúan aspectos como el origen de la madera, la regeneración de las áreas utilizadas, la conservación de los ecosistemas, y la trazabilidad de los productos. La lógica consiste en gestionar el recurso de una forma que permita su renovación y reduzca los impactos producidos durante su aprovechamiento.

Sin embargo, plantar árboles nuevos después de una tala no genera automáticamente un balance perfecto de carbono. Un árbol joven necesita años para acumular la cantidad de carbono almacenada por uno adulto, las especies poseen capacidades diferentes, y parte del carbono extraído puede regresar a la atmósfera dependiendo del destino que reciba la madera. Por eso, el balance debe evaluarse considerando todo el sistema y a lo largo del tiempo.

Por supuesto, la responsabilidad sobre las emisiones de gases de efecto invernadero está distribuida de forma muy desigual. Los países poseen matrices energéticas diferentes, las industrias generan impactos muy distintos, y las alternativas disponibles para una persona dependen enormemente de la infraestructura, los precios, la tecnología, y las políticas existentes en el lugar donde vive.

Esto tampoco vuelve irrelevantes nuestras decisiones cotidianas. Los hábitos de consumo pueden influir sobre la demanda de determinados productos y servicios, especialmente cuando esos cambios se producen a gran escala. Su efecto forma parte de un sistema mucho mayor, donde también intervienen las empresas, los gobiernos, la innovación

tecnológica, y las decisiones colectivas. Por este motivo, resulta más útil pensar la sostenibilidad como un compromiso compartido que intentar repartir culpas de manera simplista.

Dentro de todos los gases de efecto invernadero, el dióxido de carbono es el que más fácilmente podemos ayudar a reducir mediante nuestros hábitos de consumo. Una de las herramientas utilizadas para visualizar nuestra relación con estas emisiones es la conocida huella de carbono. Aplicada a una persona, intenta estimar los gases de efecto invernadero asociados directa e indirectamente con su forma de vida: la energía que utiliza, cómo se transporta, qué consume, qué alimentos compra, y los servicios de los que depende, entre muchas otras variables.

Calcularla con precisión es complejo porque obliga a decidir qué emisiones atribuimos a cada actividad y hasta dónde seguimos una cadena de producción. Un producto que compramos en Uruguay, por ejemplo, puede haber sido fabricado en otro país utilizando energía generada en un tercero. Su impacto climático no desaparece por encontrarse fuera de nuestras fronteras. Existe, sin embargo, una medida mucho más sencilla que permite comparar países: las emisiones territoriales de CO₂ per cápita. Para obtenerlas, tomamos las emisiones producidas dentro de un país durante un año y las dividimos entre su población. Esta medida no representa la huella de carbono real de cada habitante, pero permite observar cuánto CO₂ emite una economía en promedio por persona.

A continuación, utilizaremos precisamente esta segunda medida. La tabla presenta algunos ejemplos de países y divide sus emisiones territoriales anuales de CO₂ entre la población correspondiente. No pretende funcionar como un ranking global, y su objetivo es únicamente permitirnos comparar economías de tamaños muy diferentes mediante una misma escala. Para las emisiones se utilizaron los datos proporcionados por la Emissions Database for Global Atmospheric Research (EDGAR).

PAÍS	POBLACIÓN millones de habitantes	EMISIONES 2023 millones de t CO ₂	CO₂ PER CÁPITA toneladas
CANADÁ	38,8	575	14,8
RUSIA	140,8	2.070	14,7
EE. UU.	342	4.682	13,7
CHINA	1.416	13.260	9,4
ALEMANIA	84,1	583	6,9
ESPAÑA	47,3	217	4,6
CHILE	19,8	84	4,2
FRANCIA	68,5	282	4,1
ARGENTINA	45,7	184	4,0
MÉXICO	130,9	487	3,7
URUGUAY	3,4	9	2,7
BRASIL	212	480	2,3
INDIA	1.451	2.955	2,0

* Los datos per cápita se obtuvieron dividiendo las emisiones territoriales de CO₂ de cada país entre su población. Debido a que los datos poblacionales y de emisiones utilizados corresponden a años diferentes, los valores deben interpretarse como aproximaciones.

Cabe aclarar que “dividir la cuenta” entre los habitantes de un país es únicamente una herramienta estadística. El resultado no significa que cada persona haya generado realmente esa cantidad de CO₂, ni permite asignar responsabilidades de forma automática. Las emisiones territoriales dependen de la estructura productiva, la matriz energética, el transporte, la industria, el nivel de actividad económica, y muchas otras características propias de cada país. Y aunque podamos considerar injusto medir bajo la misma estructura un consumo industrial con uno personal, sí es cierto que permite entender el volumen general del problema.

Aun así, la tabla permite observar algo interesante. Los países con mayores emisiones totales no necesariamente presentan los valores per cápita más altos, porque el tamaño de su población modifica considerablemente el resultado. China, por ejemplo, puede encontrarse entre los mayores emisores en términos absolutos y, al mismo tiempo,

presentar emisiones por habitante inferiores a las de otros países con poblaciones muchísimo menores. Este tipo de comparación también ayuda a entender por qué las soluciones climáticas deben adaptarse a cada contexto. Transformar la matriz energética de un país pequeño, electrificar su transporte, o modificar determinados sectores industriales plantea desafíos muy diferentes a realizar esas mismas transformaciones en una economía con cientos o miles de millones de habitantes.

Pero aquí entran en juego muchas variables. Supongamos que posees un auto diésel relativamente nuevo, y estás considerando reemplazarlo por uno eléctrico. Para saber cuál de las dos opciones genera menos emisiones, tenemos que mirar mucho más que aquello que sale del escape. Si el vehículo diésel ya existe, las emisiones causadas durante su fabricación ya ocurrieron. La decisión actual consiste en comparar las emisiones futuras de continuar utilizándolo con las necesarias para fabricar y utilizar el nuevo vehículo eléctrico. En ese balance influyen la eficiencia de ambos automóviles, el tamaño y fabricación de la batería, la cantidad de kilómetros recorridos, la fuente utilizada para generar electricidad, y la vida útil de cada vehículo.

La fuente utilizada para generar electricidad sigue siendo fundamental. Un vehículo eléctrico cargado mediante una red dominada por carbón o gas generará indirectamente más emisiones que uno alimentado mediante energía eólica, solar, hidráulica, o nuclear. Sin embargo, una matriz eléctrica con presencia de combustibles fósiles tampoco elimina automáticamente las ventajas de la electrificación.

Los motores eléctricos aprovechan la energía con mucha mayor eficiencia que los motores de combustión, y las comparaciones deben realizarse considerando todo el ciclo de vida. Según la Agencia Internacional de Energía, un automóvil eléctrico de batería de tamaño medio vendido en 2023 genera, en promedio mundial, aproximadamente la mitad de las emisiones de un vehículo equivalente con motor de combustión a lo largo de su vida útil. Incluso manteniendo la matriz eléctrica sin las mejoras de descarbonización previstas para las próximas décadas, la ventaja seguiría siendo significativa.

Por este motivo, la electrificación del transporte y la transformación de la matriz eléctrica se refuerzan mutuamente. Cuanto más limpia se vuelve la generación de electricidad, mayor es el beneficio climático de utilizarla también para sustituir combustibles fósiles en el transporte. De nuestra lista, encontramos varios ejemplos interesantes. Uruguay generó el 92 % de su electricidad mediante fuentes renovables, mientras que Brasil alcanzó un 87,9 % de participación renovable en su matriz eléctrica. Francia siguió un camino diferente: alrededor del 65 % de su electricidad provino de la energía nuclear, la generación hidráulica representó un 11,9 %, y la energía eólica y solar aportaron conjuntamente cerca del 15 %.

Esto también muestra por qué conviene distinguir entre energía renovable y energía de bajas emisiones. Las matrices de estos tres países son muy diferentes entre sí, pero permiten que tecnologías eléctricas, como los vehículos, aprovechen una generación con una intensidad de carbono comparativamente baja.

Donde el desafío adquiere una escala completamente diferente es en los mayores sistemas eléctricos del mundo. Países como China, Estados Unidos, e India manejan demandas anuales de electricidad medidas en miles de teravatios-hora ¹. Transformar sistemas de semejante tamaño implica ampliar redes, generación, almacenamiento, y capacidad de distribución mientras millones de hogares, industrias, y servicios continúan demandando energía.

A esto se suma que una parte importante de la electricidad de varios de estos sistemas todavía procede de combustibles fósiles. El desafío consiste entonces en electrificar actividades que antes dependían directamente del petróleo o del gas, mientras la propia generación eléctrica reduce progresivamente sus emisiones. La composición exacta

¹ Entendamos las unidades de medida. Un vatio (W) es una unidad de potencia eléctrica, equivalente a un julio (J) por segundo. El vatio-hora (Wh) mide la energía que consume un aparato de un vatio, funcionando durante una hora. Usualmente, medimos consumos individuales usando vatio-hora y kilovatio-hora (kWh), mientras que los consumos industriales suelen requerir de escalas mayores como el megavatio-hora (MWh). Para consumos de países enteros, requerimos de escalas mucho mayores como el gigavatio-hora (GWh) o el teravatio-hora (TWh). Para dar escala, cada una de estas medidas es exactamente mil veces mayor que la anterior. Por lo tanto, un TWh es equivalente a 10^{12} Wh; ¡un uno y doce ceros!

de estas matrices cambia con bastante rapidez, por lo que resulta más útil comprender esta relación que quedarnos atados a un porcentaje correspondiente a un único año. Una red con mayor presencia de combustibles fósiles reduce parte de la ventaja climática de la electrificación, pero no la anula automáticamente. Y cada incorporación posterior de generación de bajas emisiones puede reducir también las emisiones de los vehículos eléctricos que ya se encuentran circulando.

Como es posible observar tras todo este análisis, las respuestas al cambio climático ocurren simultáneamente en distintos niveles. Las decisiones individuales importan, pero también lo hacen la innovación tecnológica, las estrategias empresariales, la infraestructura disponible, y las políticas públicas. Los gobiernos poseen herramientas capaces de modificar estas condiciones mediante regulaciones, estándares, inversiones, incentivos, y planificación de infraestructura. Para la ciudadanía, comprender cómo funcionan estas herramientas permite analizar con mayor información las propuestas públicas, sus costos, sus beneficios, y los resultados que producen.

En cuanto a las industrias con mayores emisiones, su comportamiento responde a muchas fuerzas al mismo tiempo: regulación, tecnología, costos, inversión, competencia, y demanda. Nuestros hábitos de consumo forman parte de esa última variable, y cuando cambian a gran escala pueden modificar los incentivos que reciben las empresas.

Su alcance depende, por supuesto, de las alternativas disponibles. Resulta mucho más sencillo elegir una opción sostenible cuando existe infraestructura que la vuelve accesible, una tecnología capaz de competir en precio, y un sistema que facilita su adopción. Por eso, los cambios individuales adquieren mucha más fuerza cuando avanzan junto con transformaciones tecnológicas, empresariales, e institucionales. Esto tampoco les quita valor en una dimensión mucho más cercana: nuestras decisiones cotidianas nos obligan a mantener presente el impacto ambiental de aquello que consumimos, utilizamos, y descartamos.

Desde CERLI, recomendamos a la sociedad informarse e interiorizarse en el tema del cambio climático. Aunque no lo creas, puede resultar muy revelador y esclarecedor, mostrándonos aspectos sumamente interesantes sobre el mundo en que vivimos, y sobre la propia naturaleza humana.



Gestión de residuos

Si naciste entre los 70 y la actualidad, habrás escuchado hablar de la famosa regla de las tres “erres”: reducir, reusar, reciclar. Su origen puntual es difícil de ubicar en un único momento, aunque su popularización está estrechamente relacionada con el despertar ambiental de las décadas de 1970 y 1980. Derrames petroleros, contaminación industrial, residuos plásticos, y una creciente preocupación por el impacto de nuestro modelo de consumo comenzaron a ocupar un espacio mucho mayor en el debate público.

Uno de los momentos emblemáticos ocurrió el 22 de abril de 1970, cuando el senador estadounidense Gaylord Nelson impulsó el primer Día de la Tierra. Cerca de veinte millones de personas participaron en manifestaciones, actividades educativas, y movilizaciones alrededor de Estados Unidos, convirtiendo la cuestión ambiental en un asunto imposible de ignorar. Ese mismo año se creó la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA), mientras nuevas regulaciones sobre contaminación del aire, calidad del agua, residuos, y protección ambiental comenzaban a transformar la legislación del país.

Dos años después, el debate alcanzaría una escala internacional con la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Humano, celebrada en Estocolmo en 1972. Fue la primera conferencia mundial de las Naciones Unidas dedicada al medio ambiente, y ayudó a colocar definitivamente la relación entre desarrollo, contaminación, calidad de vida, y protección ambiental dentro de la agenda internacional.

Así como los eventos son importantes, también lo son los símbolos. En 1970, Gary Anderson, entonces estudiante de la Universidad del Sur de California, participó en un concurso organizado por la *Container*

Corporation of America para crear un emblema relacionado con el papel reciclado. Su propuesta, formada por tres flechas que se persiguen continuamente, terminó convirtiéndose en el símbolo del reciclaje que hoy reconocemos en prácticamente todo el mundo.

Curiosamente, sus tres flechas encajaron casi a la perfección con la posterior popularización educativa de las tres erres, aunque el símbolo no había sido diseñado específicamente para representar las palabras reducir, reusar, y reciclar. Con el tiempo, ambas ideas terminaron asociándose hasta convertirse en una de las imágenes más reconocibles de la educación ambiental.

Y aunque todo esto sea fundamental para comprender cómo llegamos hasta aquí, en CERLI creemos que la educación ambiental comienza cuando un problema deja de sentirse ajeno. Para conseguirlo, primero debemos comprender qué ocurre, por qué ocurre, y cuáles son sus consecuencias. Empecemos entonces por uno de los problemas más fáciles de visualizar: ¿qué hacemos con toda nuestra basura? La cantidad de residuos que producimos somete a los sistemas de gestión a una presión cada vez mayor. El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente estima que el mundo generó alrededor de 2.300 millones de toneladas de residuos sólidos urbanos en 2023, y proyecta que esa cifra podría alcanzar los 3.800 millones en 2050 si las tendencias actuales continúan.

El crecimiento de la población contribuye evidentemente a este fenómeno, pero explica solo una parte. La cantidad de residuos generados por una sociedad también depende de sus niveles de consumo, urbanización, ingresos, infraestructura, diseño de productos, posibilidades de reparación y reutilización, y capacidad para recuperar materiales después de utilizarlos. Dos poblaciones del mismo tamaño pueden producir cantidades de basura completamente diferentes.

A esto debemos sumar nuestros patrones de producción y consumo. El modelo lineal tradicional sigue una lógica bastante sencilla: extraemos materias primas, fabricamos un producto, lo utilizamos, y finalmente lo descartamos. Cuanto más corta sea su vida útil y más difícil

resulte repararlo, reutilizarlo, o recuperar sus materiales, mayor será la cantidad de residuos que terminará requiriendo algún tipo de disposición final. Este es uno de los motivos por los que la gestión moderna de residuos presta cada vez más atención a la llamada economía circular: mantener los materiales en uso durante el mayor tiempo posible, extender la vida de los productos, recuperar aquello que todavía posee valor, y reducir la cantidad que finalmente termina convertida en basura.

La forma en que gestionamos los residuos a nivel local también puede multiplicar sus consecuencias. Un sistema de recolección deficiente, combinado con el descarte de basura en calles, terrenos, cursos de agua, o espacios abiertos, puede convertir un problema ambiental en uno sanitario. Los residuos acumulados pueden favorecer la presencia de moscas y roedores, mientras recipientes y objetos capaces de retener agua ofrecen lugares donde determinadas especies de mosquitos pueden reproducirse. Cuando además existe quema informal de basura, aparecen nuevos contaminantes en el aire.

Por eso conviene hacer una distinción importante. Un basural a cielo abierto y un relleno sanitario correctamente diseñado pueden contener el mismo tipo de residuos, pero funcionan de maneras completamente diferentes. El primero deja buena parte de sus impactos sin controlar; el segundo utiliza infraestructura específicamente diseñada para reducir la contaminación del suelo, del agua, y del aire. Aun con una gestión adecuada, los residuos que finalmente llegan a disposición necesitan permanecer controlados durante mucho tiempo. Para entender por qué, debemos observar qué ocurre después de enterrarlos.

Cuando la materia orgánica queda enterrada, el oxígeno disponible acaba consumiéndose y comienzan a dominar procesos de descomposición anaeróbica. Los microorganismos transforman progresivamente esa materia y generan lo que conocemos como gas de vertedero, compuesto aproximadamente por partes similares de metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2), además de pequeñas cantidades de otros gases. El metano es especialmente importante por su efecto sobre el clima. Si escapa hacia la atmósfera, contribuye al

calentamiento global. Por esta razón, muchos rellenos sanitarios modernos incorporan sistemas capaces de recolectarlo. Dependiendo de la instalación, puede quemarse de forma controlada o incluso aprovecharse como fuente de energía.

El gas generado durante la descomposición también contiene pequeñas cantidades de otros compuestos, entre ellos diferentes compuestos orgánicos volátiles y sulfuro de hidrógeno. Su relevancia para la salud depende de la sustancia presente, su concentración, y el tiempo de exposición. Uno de los más reconocibles es el sulfuro de hidrógeno (H_2S), el cual es uno de los principales responsables del mal olor de los residuos ². Estar en contacto con un aire altamente contaminado con sulfuro de hidrógeno generaría dolores de cabeza, náuseas, o incluso severos problemas respiratorios.

El agua plantea otro desafío. Cuando atraviesa una masa de residuos, puede arrastrar sustancias disueltas y partículas, formando un líquido contaminado conocido como lixiviado. Su composición depende enormemente de los residuos presentes y de las condiciones del lugar, pero puede contener materia orgánica, amoníaco, sales, metales, compuestos químicos, y microorganismos. Si este líquido escapa sin tratamiento, puede contaminar el suelo, las aguas subterráneas, y los cuerpos de agua cercanos. Por esta razón, los rellenos sanitarios modernos incorporan barreras impermeables y sistemas destinados a recolectar el lixiviado para evitar que migre hacia el entorno.

Todas estas potenciales consecuencias explican por qué un relleno sanitario requiere mucha más ingeniería de la que aparenta desde afuera. Su diseño puede incorporar barreras impermeables para proteger el suelo y las aguas subterráneas, sistemas de drenaje y recolección de lixiviados, coberturas para reducir la entrada de agua, mecanismos de captación de gases, control de olores y vectores, y monitoreo ambiental durante su funcionamiento y después de su cierre.

² El sulfuro de hidrógeno tiene un olor similar al de los huevos podridos, ya que se forma cuando ciertas bacterias descomponen compuestos orgánicos que poseen azufre, en ausencia de oxígeno. Al mal olor de la basura también contribuyen el amoníaco, los mercaptanos como el metilmercaptano (CH_3SH) o el etilmercaptano ($\text{C}_2\text{H}_5\text{SH}$), y los ácidos orgánicos volátiles como el ácido acético (CH_3COOH) o el ácido butírico ($\text{C}_3\text{H}_7\text{COOH}$).

El desafío consiste en mantener todos estos sistemas operativos mientras ingresan continuamente nuevas toneladas de residuos. Y cuanto mayor sea la cantidad de basura que necesita disposición final, mayor será la superficie, infraestructura, mantenimiento, y capacidad de tratamiento que tendremos que dedicarle.

A partir de la recolección, el recorrido de cada residuo dependerá del sistema disponible. En algunos lugares los materiales se separan desde el origen; en otros, parte de la clasificación ocurre posteriormente en instalaciones especializadas. Los materiales reciclables pueden limpiarse, separarse, y procesarse para recuperar materias primas, mientras que determinados residuos orgánicos pueden utilizarse para producir compost o tratarse mediante digestión anaeróbica. Los residuos electrónicos requieren procesos específicos capaces de recuperar materiales valiosos y controlar componentes potencialmente peligrosos. Los residuos químicos, sanitarios, y otras corrientes especiales necesitan todavía más cuidado, mediante tratamientos adaptados a sus características y a los riesgos que presentan.

Cada tipo de residuo plantea entonces un problema diferente. En las próximas páginas nos concentraremos en tres grupos particularmente útiles para comprenderlos: los residuos que no pueden recuperarse mediante los sistemas habituales, los plásticos, y los residuos electrónicos. Sus desafíos son distintos, pero todos nos obligan a responder una misma pregunta: ¿qué hacemos con aquello que dejamos atrás después de consumir?

Basura no reciclable

Cuando un residuo ya no puede reutilizarse, reciclarse, compostarse, o recuperarse mediante los sistemas disponibles, acaba formando parte de lo que denominamos fracción residual. Para una gran parte de estos materiales, una de las opciones más utilizadas sigue siendo la disposición en rellenos sanitarios, donde los residuos se distribuyen y compactan en sectores denominados celdas, aprovechando mejor el espacio disponible y manteniendo controlada su acumulación. A medida que se completa cada sector, los residuos se cubren con tierra u otros materiales apropiados, reduciendo olores, dispersión por el viento, presencia de animales, y otros problemas asociados con su exposición.

Debajo de los residuos existe otra parte fundamental de la infraestructura. Los rellenos sanitarios modernos incorporan sistemas impermeables y redes de drenaje destinadas a recolectar los lixiviados, que posteriormente deben tratarse antes de su descarga o disposición. Al mismo tiempo, una red de tuberías y pozos permite captar buena parte de los gases generados durante la descomposición. Ese gas puede quemarse de manera controlada, reduciendo la liberación directa de metano, o aprovecharse energéticamente cuando las condiciones de la instalación lo permiten. De esta manera, una consecuencia inevitable de la descomposición de los residuos puede transformarse parcialmente en una fuente de energía.

La escala del problema es enorme. Según la Perspectiva Mundial de la Gestión de Residuos 2024 del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, en 2023 se generaron entre 2.100 y 2.300 millones de toneladas de residuos sólidos urbanos en todo el mundo. Esto equivale aproximadamente a entre 5,8 y 6,3 millones de toneladas cada día. De

mantenerse las tendencias actuales, para 2050 la cifra anual podría alcanzar los 3.800 millones de toneladas.

Sin embargo, toda esta basura no llega a un mismo tipo de instalación. Parte puede ser reutilizada, reciclada, compostada, tratada mediante digestión anaeróbica, valorizada energéticamente, o gestionada mediante otros procesos. El resto requiere algún sistema de disposición final. Por eso, transformar los millones de toneladas diarias en un número exacto de rellenos sanitarios sería engañoso: la capacidad de cada instalación, la composición de los residuos, y la proporción que realmente termina enterrada varían enormemente entre regiones.

Aun así, la escala nos permite comprender el desafío. Incluso una instalación capaz de recibir varios miles de toneladas por día representa apenas una fracción del flujo mundial de residuos. El problema requiere miles de sistemas locales funcionando simultáneamente, cada uno conectado con redes de recolección, clasificación, recuperación, tratamiento, y disposición.

A esto se suma una dificultad geográfica. Los residuos se generan allí donde vivimos y desarrollamos nuestras actividades, mientras que las instalaciones capaces de gestionarlos necesitan espacio, infraestructura, acceso por carretera, y condiciones ambientales adecuadas. Transportar grandes cantidades de basura durante largas distancias aumenta los costos, exige una enorme logística, y genera impactos adicionales. Tampoco cualquier terreno puede convertirse en un relleno sanitario. Antes de elegir una ubicación deben considerarse características del suelo, aguas subterráneas, drenajes superficiales, estabilidad geológica, proximidad a poblaciones, accesibilidad, ecosistemas cercanos, y muchos otros factores. Encontrar un sitio técnicamente apropiado y socialmente aceptable puede convertirse, por sí mismo, en una parte considerable del problema.

El costo de crear y mantener toda esta infraestructura también es enorme. En 2020, el costo directo mundial de la gestión de residuos fue estimado en unos 252 mil millones de dólares anuales. Cuando se incorporan costos indirectos asociados con contaminación, efectos

sobre la salud, y cambio climático, la cifra asciende a unos 361 mil millones de dólares. Si las tendencias actuales continúan, el PNUMA estima que el costo anual global podría alcanzar aproximadamente 640 mil millones de dólares en 2050.

Y estos recursos tampoco están distribuidos de manera uniforme. Mientras algunos países poseen sistemas capaces de financiar recolección, clasificación, reciclaje, tratamiento, rellenos sanitarios, y monitoreo ambiental, otros todavía tienen dificultades para garantizar el servicio más básico. Se estima que alrededor de 2.700 millones de personas carecen de acceso a servicios básicos de recolección de residuos, y que apenas alrededor del 60 % de los residuos mundiales se gestiona en instalaciones controladas. Esta desigualdad explica parte del problema. Las regiones con menores recursos suelen ser justamente aquellas donde la falta de infraestructura vuelve más probable que los residuos terminen en vertederos informales, cursos de agua, quemas abiertas, o basurales a cielo abierto.

Quienes no pueden llevar sus residuos a centros de procesamiento modernos y suficientes, acaban optando por la opción tradicional: los basurales a cielo abierto. En ellos, los residuos se acumulan con pocos controles de ingeniería (o ninguno), dejando expuestos problemas que un relleno sanitario intenta mantener bajo vigilancia. Suelen faltar barreras impermeables, sistemas adecuados para recolectar lixiviados, captación de gases, coberturas, control de incendios, estabilidad de las pendientes, y mecanismos para impedir que los residuos se dispersen hacia el entorno. A medida que la montaña de basura crece, también pueden aumentar los riesgos de incendios, contaminación, proliferación de vectores, y deslizamientos.

Los basurales han sido escenario de tragedias que muestran hasta dónde pueden llegar estos riesgos. En julio del año 2000, después de varios días de lluvias intensas, una enorme masa de residuos del vertedero de Payatas, en Filipinas, se deslizó sobre las viviendas construidas junto a sus pendientes. Las estimaciones varían entre las fuentes, pero más de doscientas personas murieron y cientos de familias perdieron sus hogares. En 2017 ocurrió una tragedia similar en el

vertedero de Koshe, en las afueras de Adís Abeba, Etiopía. Una montaña de residuos se desplomó sobre viviendas cercanas y zonas donde trabajaban recuperadores informales. Los reportes posteriores elevaron el número de fallecidos por encima de las cien personas.

En ambos casos, la basura dejó de ser únicamente un problema de contaminación. Su acumulación física se había convertido en una amenaza directa para las comunidades que vivían alrededor de ella. Gestionar cantidades crecientes de residuos sin infraestructura suficiente resulta extremadamente difícil, y esperar a que toda la basura llegue al final de la cadena vuelve el problema todavía más costoso. Por eso, una gestión sostenible intenta intervenir mucho antes: reducir aquello que generamos, extender la vida útil de los productos, reutilizar materiales, recuperar lo que todavía posee valor, y reservar la disposición final para aquello que realmente ya no podemos aprovechar.

Nunca podremos hacer desaparecer por completo nuestros residuos. Pero sí podemos decidir cuánto generamos, qué hacemos con ellos, y cuánto de todo ese material termina finalmente enterrado. Esa diferencia es la que separa una montaña de basura de un sistema capaz de gestionarla.

Residuos plásticos

Uno de los tipos de residuos que más atención ha recibido durante las últimas décadas es el plástico. Y la escala ayuda a comprender por qué. En 2019, el mundo utilizó alrededor de 460 millones de toneladas de plásticos, más del doble que en el año 2000. Ese mismo año se generaron aproximadamente 353 millones de toneladas de residuos plásticos.

Un plástico es un polímero ³, generalmente sintético, cuyas materias primas proceden en gran medida del petróleo y el gas natural. Dependiendo de su composición, estructura, y de los aditivos utilizados durante la fabricación, podemos obtener materiales con propiedades completamente diferentes: flexibles, rígidos, transparentes, resistentes al calor, aislantes, o capaces de soportar impactos. Esta enorme versatilidad explica buena parte de su éxito. También significa que la palabra “plástico” agrupa materiales que se comportan de formas muy diferentes cuando llega el momento de gestionarlos como residuos. Entre los más utilizados encontramos cinco grandes familias:

- El polietileno (PE), formado por el monómero etileno (C_2H_4), es ligero, resistente a la humedad, y es muy difícil de degradar naturalmente. Por tanto, es utilizado para bolsas plásticas, films para alimentos, algunas botellas y envases más flexibles.
- El polipropileno (PP), formado por el monómero propileno (C_3H_6), es ligero pero duro, posee buena resistencia al calor, y puede reciclarse mecánicamente cuando existen sistemas adecuados de clasificación y procesamiento.

³ Un polímero es una molécula larga formada por unidades repetidas de un mismo producto, al cual denominamos monómero.

- El polietileno tereftalato (PET), que utiliza como monómero una mezcla de ácido tereftálico ($C_6H_4(CO_2H)_2$) y etilenglicol ($C_2H_6O_2$), es transparente, muy fuerte, resistente a golpes, a la humedad, y es reciclable. Se suele usar para botellas de bebidas, envases de alimentos, y textiles de poliéster.

- El poliestireno (PS), que utiliza como monómero al estireno (C_8H_8), es ligero, muy frágil, y capaz de expandirse y aislar térmicamente. Por estos motivos, se utiliza para elementos desechables, embalajes protectores, y aislantes ⁴.

- Finalmente, tenemos el cloruro de polivinilo (PVC), que utiliza como monómero al cloruro de vinilo (C_2H_3Cl). Es altamente resistente, pudiendo mezclarse con aditivos para dotarlo de rigidez o flexibilidad. Se utiliza principalmente para tuberías, recubrimientos de cables, envases rígidos, suelos y ventanas.

Buena parte de estos plásticos puede reciclarse técnicamente, aunque la posibilidad de hacerlo en la práctica depende de muchos factores: el tipo de polímero, los aditivos utilizados, la forma del producto, su nivel de contaminación, la capacidad de separar materiales, la infraestructura disponible, y la existencia de un mercado para el material recuperado.

En términos generales, podemos distinguir entre plástico virgen, fabricado a partir de materias primas nuevas, y plástico reciclado, producido total o parcialmente a partir de material recuperado. Aumentar la proporción del segundo permite reducir la demanda de materia prima virgen, aprovechar nuevamente recursos que ya fueron extraídos, y evitar que parte de los residuos llegue directamente a incineración, vertederos, o al ambiente.

Sin embargo, el plástico difícilmente recorre este ciclo de manera indefinida. El reciclaje mecánico puede degradar algunas de sus

⁴ El poliestireno puede reciclarse, aunque algunas de sus formas presentan dificultades logísticas importantes. El poliestireno expandido, por ejemplo, posee una densidad muy baja: ocupa un gran volumen y contiene muy poco material por unidad de espacio, haciendo que su recolección y transporte puedan resultar costosos en relación con la cantidad recuperada.

propiedades, existen productos compuestos por varios materiales difíciles de separar, y ciertas aplicaciones requieren características que el material recuperado ya no puede ofrecer. En algunos casos, el plástico termina siendo utilizado para fabricar productos de menor exigencia antes de alcanzar finalmente el final de su vida útil.

Y aquí aparece el verdadero tamaño del desafío. De los 353 millones de toneladas de residuos plásticos generados mundialmente en 2019, alrededor de 55 millones fueron recogidos para reciclaje. Después de descontar las pérdidas del propio proceso, apenas 33 millones de toneladas terminaron efectivamente recicladas: aproximadamente el 9 % del total. Cerca del 19 % fue incinerado, alrededor de la mitad terminó en rellenos sanitarios, y el 22 % restante fue mal gestionado, quemado a cielo abierto, depositado en basurales, o liberado al ambiente.

El problema aparece entonces en la combinación entre una producción gigantesca, una vida útil muchas veces corta, tasas todavía bajas de reciclaje, y pérdidas de material en distintas partes del sistema. En 2019, la OCDE estimó que alrededor de 22 millones de toneladas de plástico terminaron liberadas al ambiente. La mayor parte de esa contaminación estaba formada todavía por objetos y fragmentos relativamente grandes. Algunos llegan a los ecosistemas mediante sistemas deficientes de recolección y disposición, otros por abandono directo, actividades marítimas, lluvias, ríos, o drenajes urbanos. Una vez allí, muchos plásticos pueden permanecer durante periodos extremadamente largos, desplazarse enormes distancias, y fragmentarse progresivamente en partículas cada vez más pequeñas.

Los residuos plásticos pueden bloquear drenajes y cursos de agua, acumularse sobre costas y fondos marinos, y afectar directamente a la fauna. Redes, bolsas, cuerdas, envases, y otros objetos pueden enredar animales, dificultar su desplazamiento, provocar heridas, asfixia, o terminar siendo ingeridos al confundirse con alimento. Pero el plástico tampoco permanece necesariamente con su forma original. La radiación ultravioleta, las variaciones de temperatura, el oleaje, el viento, y la abrasión física pueden ir quebrándolo en fragmentos cada vez menores.

Cuando estas partículas alcanzan tamaños inferiores a los cinco milímetros hablamos, generalmente, de microplásticos.

Y la fragmentación de objetos grandes es apenas una de sus fuentes. También encontramos microplásticos procedentes del desgaste de neumáticos y marcas viales, fibras liberadas por textiles sintéticos durante el lavado, pérdidas de pellets industriales, y partículas producidas directamente a tamaños microscópicos. Algunos plásticos contienen además aditivos destinados a modificar su flexibilidad, resistencia, color, inflamabilidad, o estabilidad. Dependiendo del polímero y del producto pueden encontrarse compuestos como determinados ftalatos, bisfenoles, estabilizantes, pigmentos, o retardantes de llama. La exposición ambiental, el envejecimiento del material, y las características químicas de cada sustancia determinan en qué medida estos compuestos pueden liberarse.

Los efectos potenciales dependen enormemente de qué sustancia, partícula, organismo, concentración, y tiempo de exposición estemos estudiando. En distintos organismos acuáticos se ha observado ingestión de microplásticos, y existen investigaciones que documentan efectos físicos y biológicos bajo determinadas condiciones, incluyendo alteraciones en la alimentación, crecimiento, reproducción, inflamación, y otros procesos fisiológicos.

Esto vuelve especialmente complejo estudiar el problema. Bajo la categoría de “microplástico” podemos tener partículas con tamaños, formas, polímeros, aditivos, y concentraciones completamente diferentes. Una fibra microscópica de poliéster y un fragmento de polietileno de varios milímetros pertenecen a la misma categoría general, pero difícilmente interactúen de forma idéntica con un organismo. La pregunta se vuelve todavía más delicada cuando llegamos a los seres humanos. Los microplásticos han sido encontrados en agua potable, alimentos, aire, y diferentes muestras biológicas humanas.

Esto demuestra que estamos expuestos a ellos por distintas vías, aunque detectar una partícula y demostrar que esa exposición produce una enfermedad concreta son dos problemas científicos diferentes. La

Organización Mundial de la Salud ha revisado la evidencia disponible sobre exposición mediante agua, alimentos, y aire. Hasta el momento, las incertidumbres siguen siendo suficientemente importantes como para impedir una estimación definitiva del riesgo sanitario de los microplásticos y nanoplásticos para la población general. Entre las preguntas todavía abiertas se encuentran los efectos de las partículas más pequeñas, las dosis realmente absorbidas por el organismo, su permanencia en los tejidos, y las consecuencias de exposiciones prolongadas.

Esto no vuelve irrelevante el problema. La contaminación plástica ya posee impactos ambientales suficientemente documentados como para justificar su reducción, y limitar nuestra exposición mientras la ciencia avanza representa una precaución razonable. Pero también debemos mantener una distinción fundamental para cualquier educación científica responsable: encontrar microplásticos dentro del cuerpo humano no equivale, por sí mismo, a haber demostrado qué daño producen allí.

Residuos electrónicos

Finalmente, el último gran problema de gestión de residuos que abordaremos en este informe es el de los residuos electrónicos, o “e-waste”. La categoría incluye dispositivos electrónicos, electrodomésticos, herramientas, baterías, pantallas, equipos informáticos, y muchos otros productos que dependen de componentes eléctricos o electrónicos. Como podrán imaginar, en una sociedad cada vez más digitalizada, este flujo de residuos crece con enorme rapidez y combina dos características particularmente importantes: contiene materiales de gran valor económico y, al mismo tiempo, sustancias que requieren una gestión especialmente cuidadosa.

Según el informe “*Global e-Waste Monitor 2024*” ⁵, en 2022 se generaron 62 millones de toneladas de residuos electrónicos en todo el mundo, equivalentes a unos 7,8 kilogramos por persona. Apenas el 22,3 % fue documentado como formalmente recolectado y reciclado de manera ambientalmente adecuada. El informe proyecta que, si las tendencias continúan, la generación mundial podría alcanzar 82 millones de toneladas en 2030. El resto no puede considerarse automáticamente abandonado, pero queda fuera de esa fracción documentada como gestionada mediante sistemas formales y ambientalmente adecuados.

Dentro de esos 62 millones de toneladas existe una verdadera mezcla de materiales. El mismo informe estima que los residuos electrónicos generados en 2022 contenían alrededor de 31 millones de toneladas de metales, 17 millones de toneladas de plásticos, y 14 millones de

⁵ El Global E-waste Monitor 2024 es la cuarta edición del informe elaborado por UNITAR, a través del programa SCYCLE, y la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), con participación de la Fondation Carmignac.

toneladas de vidrio, minerales, materiales compuestos, y otras sustancias. Entre los metales pueden encontrarse hierro, aluminio, cobre, oro, plata, paladio, litio, plomo, cadmio, y mercurio, aunque la composición varía enormemente según el dispositivo y su fecha de fabricación.

Esta mezcla explica por qué quemar o dismantelar residuos electrónicos sin controles puede resultar especialmente peligroso. El problema no proviene de supuestas “altas concentraciones de metano” generadas por los aparatos. Los riesgos aparecen por la combustión deliberada de cables y carcasas, incendios accidentales, roturas de baterías, trituración sin protección, y tratamientos químicos improvisados destinados a recuperar metales. Cuando estos procesos se realizan sin infraestructura adecuada, sustancias presentes en los dispositivos o generadas durante el tratamiento pueden terminar en el aire, el suelo, el agua, y el polvo.

La Organización Mundial de la Salud señala que se han identificado más de mil sustancias potencialmente nocivas presentes en los residuos electrónicos o generadas durante prácticas de reciclaje inseguras. Entre ellas aparecen plomo, cadmio, mercurio, níquel, dioxinas, hidrocarburos aromáticos policíclicos, y retardantes de llama bromados ⁶. La peligrosidad depende de la sustancia, la dosis, la vía de exposición, y el tiempo de contacto, por lo que resulta más preciso hablar de mezclas de riesgos que atribuir los mismos efectos tóxicos a todos los componentes electrónicos.

Las prácticas informales pueden exponer a trabajadores y comunidades mediante inhalación de humo y partículas, ingestión de polvo o agua contaminada, y contacto directo con sustancias peligrosas. Quemar cables para recuperar cobre, calentar componentes, triturar placas, o utilizar ácidos para extraer metales son algunos de los procedimientos documentados por la OMS. En niños, la preocupación es todavía mayor debido a su etapa de desarrollo, y la exposición asociada

⁶ Un retardante de llama es un aditivo químico que se incorpora a materiales combustibles para reducir su inflamabilidad o ralentizar la propagación del fuego, y evitar incendios cuando el material se expone a una fuente de calor o llama.

al reciclaje informal se ha relacionado con alteraciones del neurodesarrollo, función pulmonar, función tiroidea, resultados adversos del embarazo, y daño del ADN.

Nigeria ofrece un ejemplo particularmente útil porque reúne actividad formal, reciclaje informal, importación de equipos usados, y grandes sistemas de disposición de residuos. El vertedero de Olusosun, en Lagos, ocupa poco más de 40 hectáreas y ha recibido cerca de diez mil toneladas diarias de residuos municipales. Entre esos materiales también llega basura electrónica, aunque sería incorrecto describir el lugar como un vertedero compuesto mayoritariamente por e-waste. El PNUMA ha documentado además sitios cercanos donde trabajadores informales queman cables y desmontan aparatos para recuperar cobre, aluminio, y otros metales.

La escala nacional también resulta considerable. El PNUMA señala que Nigeria procesa más de medio millón de toneladas de aparatos electrónicos descartados cada año, y estima que alrededor de 100 mil personas trabajan en su sector de reciclaje electrónico. Para muchas familias, esta actividad representa una fuente real de ingresos, lo que vuelve insuficiente cualquier solución basada únicamente en prohibiciones. El desafío consiste en formalizar la recuperación de materiales, ofrecer alternativas económicas viables, y reducir la exposición de quienes hoy obtienen valor de los residuos utilizando métodos que ponen en riesgo su propia salud.

Luego de leer todo esto, quizá te preguntes cómo debería procesarse correctamente un residuo electrónico. El primer paso suele ser clasificar y desmontar los equipos antes de triturarlos. Allí pueden retirarse baterías, lámparas, cartuchos, condensadores, pantallas, y otros componentes que requieren tratamientos separados. También se recuperan piezas que todavía pueden reutilizarse o repararse. Esta etapa es fundamental porque mezclar indiscriminadamente todos los materiales complica la recuperación posterior y puede liberar sustancias peligrosas que resultaban mucho más fáciles de controlar mientras seguían contenidas dentro del dispositivo.

Después del desmontaje comienza la separación física de los materiales. Dependiendo de la instalación, los residuos pueden triturarse y pasar por sistemas magnéticos para recuperar hierro y acero, corrientes inducidas para separar determinados metales no ferrosos, métodos de densidad, separación electrostática, cribado, y clasificación óptica. El objetivo consiste en concentrar materiales con características similares antes de enviarlos a procesos más especializados. Cuanto mejor sea esta separación inicial, más fácil resulta recuperar metales de valor y evitar que plásticos, vidrio, o sustancias peligrosas contaminen las fracciones aprovechables.

Las placas electrónicas concentran algunos de los materiales más valiosos. Después de la separación mecánica, el cobre, el oro, la plata, el paladio, y otros metales pueden recuperarse mediante procesos pirometalúrgicos, que utilizan altas temperaturas, o hidrometalúrgicos, que emplean soluciones químicas para disolver y separar selectivamente determinados elementos. Ninguna técnica sirve para todos los residuos por igual, y las plantas suelen combinar varias etapas. La diferencia fundamental con el reciclaje informal está en el control de temperaturas, emisiones, reactivos, aguas residuales, y exposición de los trabajadores.

Las pantallas muestran muy bien por qué esta clasificación previa resulta necesaria. Los antiguos tubos de rayos catódicos contienen vidrio con plomo y requieren una gestión diferente a las pantallas modernas. Algunas pantallas LCD más antiguas utilizaron lámparas fluorescentes con pequeñas cantidades de mercurio, mientras que los sistemas LED emplean tecnologías distintas y no deben agruparse automáticamente en la misma categoría. Técnicas analíticas como la espectroscopía XRF ⁷ pueden ayudar a identificar la composición de ciertos materiales antes de decidir su tratamiento, reduciendo la necesidad de aplicar un único proceso a residuos muy diferentes.

⁷ La espectroscopia XRF se realiza iluminando una muestra del vidrio con rayos X de alta energía, haciendo que emita rayos X característicos de cada elemento químico. Por otra parte, el análisis ICP consiste en disolver o atomizar la muestra, e introducirla en un plasma de argón a unos 10.000 K. Esto excita los átomos de los metales presentes en el vidrio, y hacen que emitan luz en diferentes longitudes de onda distintivas de cada metal. Un espectrómetro detecta la luz, identificando cada metal y midiendo la cantidad exacta presente en el vidrio.

Todo este esfuerzo tiene también una dimensión económica enorme. El *Global E-waste Monitor* estima que los residuos electrónicos generados en 2022 contenían metales por un valor aproximado de 91 mil millones de dólares. Solo el cobre representaba unos 19 mil millones, el oro alrededor de 15 mil millones, y el hierro aproximadamente 16 mil millones. Sin embargo, los materiales secundarios efectivamente recuperados mediante el reciclaje documentado alcanzaron un valor estimado de 28 mil millones. La diferencia permite entender por qué se habla cada vez más de los residuos electrónicos como una forma de “minería urbana”.

La recuperación también evita parte de los impactos asociados con extraer nuevamente esos materiales. Según el mismo informe, el reciclaje documentado de residuos electrónicos en 2022 evitó la extracción de aproximadamente novecientos millones de toneladas de mineral primario y cerca de 93 millones de toneladas de emisiones equivalentes de dióxido de carbono. Esto conecta directamente la gestión de residuos con el capítulo anterior: recuperar cobre, hierro, oro, aluminio, y otros materiales reduce la presión sobre nuevas actividades extractivas, aunque el reciclaje todavía está muy lejos de capturar todo el valor disponible.

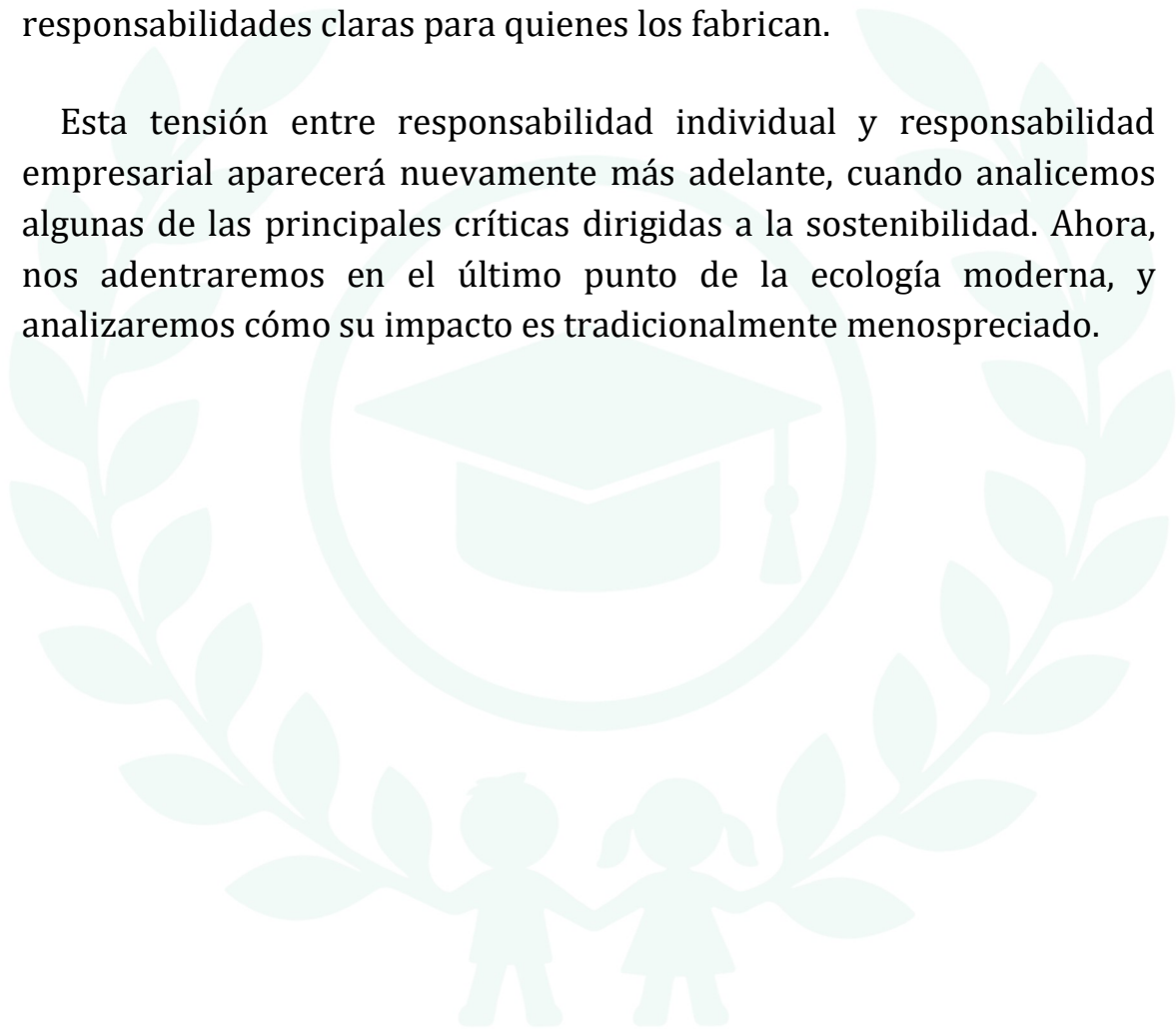
Sin embargo, mejorar el reciclaje resuelve únicamente una parte del problema. Si cada año ponemos en circulación más dispositivos y acortamos el tiempo durante el cual los utilizamos, el volumen de residuos puede crecer más rápido que nuestra capacidad para recuperarlos. Y no hay demanda que crezca tan rápido como la de dispositivos electrónicos, principalmente debido a un concepto muy controvertido de la industria tecnológica: la obsolescencia programada.

Esto pone una barrera en la ayuda que el consumidor individual puede otorgar; incluso queriendo controlar sus propios impulsos consumistas, la industria es quien conspira en nuestra contra, creando una obsolescencia artificial que nos fuerza a comprar un nuevo dispositivo, aun cuando el actual sigue teniendo la capacidad de funcionar. Esto devuelve una pregunta incómoda al centro de la sostenibilidad: ¿cuánta responsabilidad podemos exigirle al

consumidor cuando la duración, separabilidad, compatibilidad, y soporte de un producto dependen en gran medida de decisiones tomadas antes de que llegue a sus manos?

Elegir conservar un teléfono durante más tiempo ayuda poco si la batería no puede sustituirse, las piezas dejan de estar disponibles, o el software pierde soporte. La economía circular requiere entonces consumidores más conscientes, pero también productos diseñados para durar, sistemas de reparación accesibles, repuestos disponibles, y responsabilidades claras para quienes los fabrican.

Esta tensión entre responsabilidad individual y responsabilidad empresarial aparecerá nuevamente más adelante, cuando analicemos algunas de las principales críticas dirigidas a la sostenibilidad. Ahora, nos adentraremos en el último punto de la ecología moderna, y analizaremos cómo su impacto es tradicionalmente menospreciado.



Protección de los ecosistemas

Hasta ahora, hemos explorado dos de las grandes consecuencias de nuestra actividad sobre el planeta: las emisiones que alteran el clima, y los residuos que saturan nuestros sistemas de gestión. Sin embargo, existe una tercera dimensión del problema, que suele recibir menos atención, quizás porque sus efectos son más silenciosos y difíciles de cuantificar en el corto plazo. Hablamos de la destrucción de los ecosistemas que sostienen toda la vida en la Tierra, afectando todos los aspectos que hacen a nuestro planeta lo que es.

Comencemos por uno de los ejemplos más visibles: la destrucción de los bosques. Según la FAO, entre 2015 y 2020 se perdieron por deforestación aproximadamente diez millones de hectáreas anuales. Desde 1990, unos 420 millones de hectáreas de bosque han sido convertidas a otros usos. La agricultura representa el principal motor de esta transformación; entre 2000 y 2018, la expansión agrícola estuvo asociada con cerca del 90 % de la deforestación mundial, incluyendo tanto cultivos como nuevas áreas destinadas a la ganadería.

La escala cambia según la región, pero algunos de los frentes más importantes se encuentran en los bosques tropicales de Sudamérica, África central, y el sudeste asiático. Allí, la expansión agropecuaria, la extracción de madera, la minería, la infraestructura, los incendios, y otros cambios en el uso del suelo ejercen distintas presiones sobre ecosistemas que concentran una enorme proporción de la biodiversidad terrestre.

Los bosques son grandes actores del ciclo del agua. Sus raíces modifican la infiltración y ayudan a estabilizar los suelos, mientras la vegetación devuelve enormes cantidades de agua a la atmósfera mediante la evapotranspiración. Cuando grandes superficies desaparecen, pueden modificarse la escorrentía, la erosión, la humedad del suelo, y los patrones regionales de precipitación. El impacto final depende del ecosistema y de la escala de la intervención, pero eliminar un bosque implica mucho más que retirar los árboles visibles.

También estamos interviniendo sobre uno de los grandes reservorios terrestres de carbono. Parte de ese carbono permanece en la vegetación y otra parte se encuentra almacenada en los suelos. La tala, los incendios, y determinados cambios en el uso de la tierra pueden liberar una fracción importante, mientras la pérdida de vegetación reduce además la capacidad futura del ecosistema para continuar capturando dióxido de carbono.

Y esto no se limita a los bosques. Los océanos absorben aproximadamente una cuarta parte del dióxido de carbono emitido por las actividades humanas cada año, amortiguando parcialmente su acumulación en la atmósfera. Las turberas ofrecen otro ejemplo extraordinario: cubren apenas entre el 3 % y el 4 % de la superficie terrestre, pero almacenan hasta un tercio del carbono presente en los suelos del planeta, aproximadamente el doble del contenido en la biomasa de todos los bosques del mundo. Cerca del 12 % de las turberas globales ya se encuentra degradado.

Los manglares cumplen funciones distintas y no menos importantes. Protegen costas frente al oleaje, proporcionan zonas de crianza para numerosas especies, almacenan carbono, y sostienen actividades económicas de comunidades costeras. La FAO estima que en 2020 existían unas 14,8 millones de hectáreas de manglares en el mundo. Más del 20 % de su superficie global se perdió durante los cuarenta años anteriores, aunque la velocidad de pérdida se ha reducido y algunas regiones han registrado nuevas expansiones.

Algo parecido ocurre con arrecifes, praderas, humedales continentales, bosques, y otros sistemas. Cada uno responde a presiones diferentes, y ninguno puede reducirse simplemente a su capacidad para almacenar carbono. Cuando desaparecen, perdemos hábitats, regulación hídrica, protección costera, alimentos, materias primas, oportunidades económicas, y funciones ecológicas que muchas veces solo advertimos cuando dejan de estar disponibles.

En todos estos casos aparecen dos pérdidas simultáneas. Las especies pierden las condiciones necesarias para sobrevivir, y las sociedades pierden funciones ecológicas de las que dependen diariamente. Quizá ningún recurso lo muestre con tanta claridad como el agua dulce. Aunque aproximadamente el 71 % de la superficie terrestre está cubierta por agua, apenas alrededor del 2,5 % del agua del planeta es dulce.

Y esa pequeña fracción tampoco se encuentra enteramente a nuestra disposición. Cerca del 68,7 % del agua dulce está almacenada en glaciares, casquetes, y nieve permanente, mientras aproximadamente el 30,1 % se encuentra bajo tierra. Solo algo más del 1,2 % del agua dulce corresponde a aguas superficiales y otras reservas próximas a la superficie. Lagos, ríos, y humedales representan entonces una fracción diminuta del agua planetaria, aunque resultan esenciales para ecosistemas, ciudades, agricultura, generación de energía, y numerosas actividades humanas.

Estos sistemas reciben presiones desde múltiples direcciones. La contaminación industrial y agrícola modifica la calidad del agua; la extracción para consumo y riego altera caudales y reservas; las represas transforman cursos fluviales, y las especies invasoras pueden modificar profundamente comunidades biológicas. Cuando un ecosistema de agua dulce se degrada, las consecuencias pueden sentirse con una rapidez que vuelve mucho más difícil ignorarlas.

El lago Chad ofrece uno de los ejemplos más conocidos de cómo un sistema de agua dulce puede transformarse en apenas unas décadas. A comienzos de la década de 1960, su superficie de aguas abiertas

rondaba los 25.000 a 26.000 kilómetros cuadrados. Después llegaron las grandes sequías del Sahel durante las décadas de 1970 y 1980, acompañadas por una creciente extracción de agua para riego y otros usos. En determinados momentos, la superficie de agua abierta descendió por debajo de los 2.000 kilómetros cuadrados, una reducción superior al 90 % respecto a los valores de comienzos de los sesenta.

Sin embargo, la historia del lago es más compleja que una reducción continua hasta su desaparición. Es extremadamente poco profundo, responde con enorme rapidez a las lluvias, y su superficie cambia considerablemente entre estaciones. Desde la década de 1990 se ha observado una recuperación parcial asociada con mejores precipitaciones en el Sahel, aunque el sistema continúa siendo muy variable y vulnerable a las presiones climáticas y humanas. El Banco Mundial advierte, precisamente, que describir al lago como una masa de agua que simplemente continúa desapareciendo puede ocultar esta evolución mucho más dinámica.

Esa aclaración no vuelve menos impactante lo ocurrido. La transformación de una extensión enorme de aguas abiertas en un mosaico de aguas someras, humedales, vegetación, y zonas temporalmente secas modificó las condiciones para la pesca, la agricultura, el pastoreo, y el acceso a los recursos. El caso resulta incluso más interesante desde una perspectiva educativa porque muestra que los ecosistemas rara vez siguen una trayectoria perfectamente lineal.

Pero ¿qué pasa con las personas? La cuenca del lago Chad sostiene los medios de vida de decenas de millones de habitantes mediante la agricultura, la pesca, el pastoreo, y el comercio. Cuando cambian la disponibilidad de agua, los ciclos de inundación, las zonas de cultivo, o el acceso a pasturas, las comunidades deben adaptar actividades que muchas veces constituyen su principal fuente de alimento e ingresos. En regiones donde ya existen altos niveles de pobreza y pocas alternativas económicas, esa presión ambiental puede aumentar considerablemente la vulnerabilidad.

La relación con la violencia requiere mayor cuidado. Los conflictos de la cuenca tienen causas políticas, económicas, sociales, históricas, y de seguridad que van mucho más allá de la disponibilidad de agua. La insurgencia de Boko Haram, iniciada en Nigeria y posteriormente extendida hacia países vecinos, constituye uno de los principales factores de inseguridad y desplazamiento en la región. La variabilidad climática, la degradación ambiental, y la competencia por determinados recursos pueden agravar tensiones existentes y deteriorar medios de vida, pero sería incorrecto presentarlas como una explicación única del conflicto.

La magnitud humanitaria sigue siendo enorme. Según datos de ACNUR publicados en julio de 2026, más de 3,53 millones de personas se encontraban forzosamente desplazadas en la cuenca del lago Chad, mientras 8,2 millones necesitaban asistencia humanitaria. Estas cifras responden principalmente a años de violencia, inseguridad, y desplazamiento, dentro de una región que al mismo tiempo enfrenta pobreza, degradación ambiental, presión sobre los recursos, y una elevada exposición a los cambios del clima. El caso del lago Chad nos deja entonces una lección más interesante que una relación causal sencilla.

Un ecosistema degradado puede aumentar la presión sobre sociedades que ya enfrentan problemas graves, y una sociedad sometida a conflictos pierde, al mismo tiempo, capacidad para gestionar sus recursos de manera sostenible. El deterioro ambiental y la fragilidad social pueden terminar reforzándose mutuamente. Una de las respuestas más utilizadas frente a la degradación de ecosistemas ha sido la creación de áreas protegidas. Parques nacionales, reservas de biosfera, áreas marinas protegidas, corredores ecológicos, y otras figuras permiten limitar determinadas actividades humanas y conservar territorios particularmente valiosos. Sin embargo, proteger un ecosistema implica mucho más que conservar especies dentro de una frontera dibujada sobre un mapa.

Desde CERLI, entendemos que esta protección debe explicarse a partir de aquello que sostiene nuestra propia vida cotidiana. Los

ecosistemas almacenan carbono, regulan el agua, protegen suelos, amortiguan inundaciones, permiten la polinización, mantienen cadenas alimentarias, proporcionan materias primas, y sostienen actividades económicas enteras. Muchos de estos procesos pueden complementarse tecnológicamente, pero reconstruirlos artificialmente a la escala y complejidad con la que funcionan en la naturaleza sería extraordinariamente difícil y costoso.

No obstante, la protección formal no es suficiente por sí sola. Un área protegida, sin el acompañamiento de las comunidades, instituciones, y presupuestos locales, termina siendo una declaración de intenciones sobre un mapa. En este sentido, vemos con mejores ojos los enfoques que combinan la protección con el desarrollo sostenible de las comunidades que habitan en esas zonas. Cuando las personas que viven junto a un bosque o una cuenca hídrica participan de su gestión y reciben beneficios tangibles por preservarlo, la conservación puede integrarse con mucha más fuerza a la economía y la vida cotidiana de la comunidad.

Las políticas de conservación también deben abordar los factores que impulsan la degradación desde fuera de las áreas protegidas. De poco sirve proteger un humedal si el río que lo alimenta sigue siendo contaminado aguas arriba. De poco sirve crear una reserva marina si la pesca ilegal no tiene consecuencias. La protección de los ecosistemas requiere una mirada sistémica, que conecte lo local con lo global, y que entienda que los límites de un parque no son los límites del problema.

Polémicas sobre la sostenibilidad

El estilo de vida sustentable, por positivo que pueda sonar sobre el papel, nunca ha estado libre de críticas. Algunas señalan costos reales, contradicciones, o una distribución injusta de responsabilidades. Otras parten de datos incompletos, experiencias particulares convertidas en reglas generales, o afirmaciones que parecen convincentes hasta que se las compara con la evidencia. Este último grupo nos interesa especialmente en CERLI, porque allí la educación tiene una oportunidad evidente: una crítica construida sobre una confusión puede cambiar considerablemente cuando comprendemos mejor el problema.

También conviene aclarar algo antes de comenzar. Todos somos ignorantes respecto a una cantidad inmensa de temas, y reconocerlo es justamente lo que permite aprender. El problema aparece cuando una intuición se transforma en certeza antes de haberla puesto a prueba. Por eso reservamos esta sección para algunas de las críticas más habituales hacia la sostenibilidad, incluyendo aquellas que poseen fundamentos razonables, aquellas que necesitan mayor contexto, y aquellas que comienzan a desarmarse cuando observamos con atención los datos que las rodean.

Sin más dilación, comencemos con los argumentos y contrargumentos:

1. *“El cambio climático no existe, o, de existir, bien puede ser algo natural y no estar causado directamente por los seres humanos. Todo es una gran conspiración, con el afán de controlar nuestros hábitos de consumo para el beneficio de los más ricos. Además, siempre se culpa*

al individuo, mientras que, de existir el efecto invernadero, los principales culpables serían las grandes industrias, mientras que nuestro efecto individual sería completamente despreciable.”

Como vimos en la sección correspondiente al cambio climático, la atribución del calentamiento actual a la actividad humana se sostiene sobre varias líneas independientes de evidencia. En 2024, la concentración media mundial de dióxido de carbono alcanzó aproximadamente 422,8 partes por millón, un 52 % por encima del nivel preindustrial. El metano llegó a unas 1.930 partes por mil millones, alrededor de un 165 % por encima de su concentración preindustrial. Ambos gases alcanzaron valores récord en los registros modernos.

El crecimiento porcentual del metano es mayor, aunque eso no significa que posea el mayor peso total sobre el calentamiento antropogénico. Entre los gases de efecto invernadero de larga vida medidos por NOAA, el dióxido de carbono continúa siendo el principal responsable del aumento del forzamiento radiativo, seguido por el metano. A esto se suma la composición isotópica del carbono atmosférico: disminuyen las proporciones relativas de carbono-13 y carbono-14, una firma coherente con la incorporación creciente de carbono procedente de combustibles fósiles.

El vapor de agua completa otra parte del mecanismo. Su concentración responde rápidamente a la temperatura: una atmósfera más cálida puede contener más humedad, y ese vapor adicional retiene más calor. Por esta razón funciona principalmente como una retroalimentación del calentamiento iniciado por otros forzamientos, como el aumento de CO₂. El proceso amplifica el cambio original, pero atribuirle el papel de causa inicial del calentamiento moderno invertiría el orden físico de los acontecimientos.

La afirmación de que las políticas climáticas “benefician a los más ricos” tampoco es correcta en todos los casos. Las transformaciones necesarias para reducir emisiones generan costos, oportunidades, inversiones, nuevos mercados, y cambios en actividades existentes. Sus efectos se distribuyen de manera diferente entre sectores, regiones,

empresas, y hogares. El IPCC reconoce justamente que una transición climática puede aumentar o reducir desigualdades dependiendo de cómo se diseñen las medidas y de quién termine absorbiendo sus costos.

Esto le concede a la crítica un punto que merece ser tomado en serio. Las campañas ambientales pueden volverse injustas cuando presentan un problema sistémico como una colección de culpas individuales. Nuestros hábitos de consumo influyen sobre la demanda, pero las opciones disponibles dependen también de la infraestructura, los precios, las regulaciones, la tecnología, y las decisiones empresariales. Una persona difícilmente puede elegir transporte público si este no existe, o reparar un producto cuando el fabricante dejó de proporcionar repuestos.

Desde CERLI creemos que la educación ambiental gana credibilidad cuando muestra ambas escalas al mismo tiempo. Podemos revisar nuestras propias decisiones y, a la vez, comprender los sistemas que condicionan esas decisiones. La responsabilidad individual existe, pero su capacidad para generar cambios aumenta enormemente cuando encuentra instituciones, mercados, empresas, y políticas capaces de acompañarla.

2. *“La gestión de residuos es ineficiente y poco fiable. Separar cada residuo toma tiempo, y luego el camión de la basura vuelve a mezclar todo. Además, ¿de qué sirve ser más cuidadosos con nuestros residuos individuales, si las grandes industrias generan muchísimos más, y los vierten sin cuidado en países extranjeros? Nos quieren hacer sentir culpables por cada envase que tiramos, pero la verdadera contaminación la provocan las grandes empresas. Mi esfuerzo individual es prácticamente inútil.”*

Esta crítica mezcla dos preguntas diferentes: ¿sirve separar los residuos en origen?, y ¿funciona correctamente el sistema que los recibe después? La respuesta a la primera es bastante clara. Mantener separados materiales con características diferentes reduce la contaminación entre ellos y facilita su recuperación posterior. Papel,

cartón, vidrio, metales, plásticos, y residuos orgánicos pueden perder gran parte de su valor cuando llegan mezclados con restos de comida, líquidos, sustancias peligrosas, o materiales incompatibles.

El Banco Mundial identifica una relación directa entre la recolección separada y el reciclaje de mayor calidad, precisamente porque los materiales mezclados tienden a contaminarse y degradarse. Esto tampoco significa que cualquier sistema de clasificación doméstica funcione bien. Si las categorías están mal diseñadas, la población recibe instrucciones confusas, o la infraestructura posterior vuelve a mezclar materiales incompatibles, el resultado puede ser frustrante y poco eficiente.

Cuando el sistema funciona correctamente, separar en origen aumenta la cantidad y calidad del material que puede recuperarse mediante reciclaje, compostaje, digestión, u otros tratamientos. El esfuerzo individual, por lo tanto, tiene una función concreta. Su utilidad depende de que exista una cadena posterior capaz de recoger aquello que clasificamos, mantener las corrientes separadas, procesarlas adecuadamente, y encontrar un destino para los materiales recuperados.

La crítica sobre las grandes empresas también merece más cuidado que el texto habitual de “ellas contaminan y nosotros pagamos”. Existen regulaciones que obligan a numerosos productores a gestionar determinados residuos, y también sistemas de responsabilidad extendida del productor. Aun así, los incumplimientos, la gestión deficiente, y el tráfico internacional de residuos siguen existiendo. El Convenio de Basilea mantiene mecanismos específicos para controlar estos movimientos y considera criminales determinadas formas de tráfico ilegal de residuos peligrosos.

Por eso, que una persona clasifique correctamente una botella no resuelve por sí mismo el problema mundial de la basura, pero tampoco convierte esa clasificación en inútil. Estamos nuevamente frente a una cadena: diseño del producto, consumo, separación, recolección, transporte, tratamiento, recuperación, y disposición final. Si cualquiera

de esos eslabones falla de forma sistemática, el resultado completo pierde eficacia.

En este punto, la responsabilidad individual es más tangible que en otros problemas ambientales porque nosotros mismos generamos una parte importante de los residuos domésticos y decidimos qué compramos, cuánto utilizamos, cuánto reutilizamos, y cómo descartamos aquello que deja de servirnos. Aun así, el volumen final también depende de decisiones que ocurren mucho antes de que un producto llegue a nuestras manos: diseño, embalaje, durabilidad, reparabilidad, modelos de venta, y disponibilidad de sistemas de retorno.

Reducir la cantidad de residuos exige entonces trabajar desde ambos extremos de la cadena. Podemos consumir con mayor atención y clasificar mejor aquello que descartamos, mientras los productores y los sistemas públicos de gestión modifican las condiciones que determinan cuánto residuo se genera y qué ocurre después. La ventaja es que, en este caso, muchas pequeñas mejoras pueden acumularse y reducir de manera bastante directa la presión sobre el sistema.

3. *“Proteger bosques, ríos o reservas naturales suena bonito, pero nos quitan tierras, recursos y oportunidades de negocio, y lo peor es que casi nunca veo un beneficio directo. Gastan un montón de dinero en esto y los que vivimos ahí no recibimos nada a cambio. La sostenibilidad parece un discurso para retrasar el desarrollo y mantener todo controlado. Especialmente cuando hablan de preservar la fauna de insectos... ¿qué importa si desaparecen ciertos insectos? ¡Mejor aún! Ya no tendremos que preocuparnos por mosquitos o abejas que tanto molestan en las épocas cálidas, cuando estamos de vacaciones.”*

Esta crítica toca el conflicto de que proteger un territorio puede limitar determinados usos productivos, y que estas restricciones pueden tener costos para quienes viven o trabajan allí. Por eso, la conservación funciona mucho mejor cuando las comunidades locales

participan de las decisiones y reciben beneficios concretos derivados de preservar el ecosistema. Pero asumir que un territorio solamente genera valor cuando extraemos algo de él deja fuera una cantidad enorme de servicios que normalmente damos por sentados.

Agua limpia, regulación de inundaciones, fertilidad del suelo, almacenamiento de carbono, protección costera, pesca, polinización, turismo, y disponibilidad de materias primas dependen en distintos grados de ecosistemas funcionales. Algunos de estos beneficios pueden convertirse directamente en ingresos; otros aparecen como costos que dejamos de pagar. Un manglar que reduce el impacto de una tormenta o un humedal que retiene agua puede tener un enorme valor económico aunque nunca aparezca como un producto vendido en una tienda.

Como vimos en el ejemplo del lago Chad, degradar un ecosistema puede trasladar costos ambientales hacia la economía y la vida cotidiana de las comunidades. Desde CERLI defendemos por eso que la conservación incorpore mecanismos capaces de beneficiar a quienes conviven directamente con los territorios protegidos. Pedirle a una comunidad que renuncie a determinadas actividades sin ofrecer alternativas económicas, participación, o compensaciones puede convertir una política ambiental bien intencionada en una fuente completamente evitable de conflicto.

Y llegamos finalmente a los insectos. Su importancia resulta mucho más fácil de visualizar cuando observamos nuestros alimentos. Según la FAO, alrededor de tres cuartas partes de los principales tipos de cultivos alimentarios del mundo dependen al menos parcialmente de polinizadores, y cerca del 35 % del volumen de la producción agrícola mundial se ve afectado por la polinización animal. Abejas, moscas, mariposas, polillas, escarabajos, y otros animales participan en este trabajo silencioso que ocurre todos los días alrededor de nosotros.

Eso tampoco significa que la desaparición de los polinizadores acabaría con todos nuestros alimentos. Cereales fundamentales como trigo, arroz, y maíz dependen principalmente del viento o de otros mecanismos. El impacto recaería con especial fuerza sobre numerosas

frutas, verduras, frutos secos, semillas, y cultivos asociados con la diversidad nutricional. IPBES estima que entre 235 mil y 577 mil millones de dólares anuales de producción agrícola dependen directamente de la contribución de los polinizadores.

Otros organismos cumplen funciones completamente diferentes. Escarabajos, hormigas, termitas, y numerosos invertebrados intervienen en la descomposición, el reciclaje de nutrientes, la estructura de los suelos, y las cadenas alimentarias. Las lombrices también cumplen un papel importante en los suelos, aunque conviene aclarar que no son insectos. Cuando desaparece una especie, el problema real depende de qué función cumplía, qué organismos pueden sustituirla, y cuánto cambia la red ecológica de la que formaba parte.

4. *“Me están diciendo que cambie mis hábitos, compre más caro, consuma menos y viva “sustentable”. Pero, si todos estos problemas los causan las industrias y los países ricos, ¿por qué yo debería pagar los platos rotos? ¿Están permitidas prácticas contaminantes y anticonsumidor como la obsolescencia programada, pero yo soy el culpable por volver a consumir? Al final, las políticas verdes solo terminan complicando y encareciendo la vida del ciudadano común, y beneficiando a los grandes grupos de interés.”*

Este podría ser el argumento más comprensible de todos, porque parte de una dificultad real: nuestro sistema económico y nuestra infraestructura todavía no hacen que la opción más sostenible sea siempre la más barata, cómoda, o accesible. Los automóviles eléctricos ofrecen un buen ejemplo. En muchos mercados siguen teniendo un precio inicial superior al de vehículos equivalentes de combustión, aunque la diferencia se ha reducido considerablemente y, durante su vida útil, los menores gastos de energía y mantenimiento pueden hacer que su costo total resulte competitivo o incluso inferior.

También existen obstáculos que el consumidor individual difícilmente pueda resolver. Comprar un vehículo eléctrico sirve de poco si no hay lugares donde cargarlo con comodidad, y electrificar

millones de automóviles exige redes capaces de responder al crecimiento de la demanda. En 2024 se instalaron más de 1,3 millones de puntos públicos de carga en el mundo, llevando el total por encima de los cinco millones. Aun así, su distribución continúa siendo muy desigual entre países, ciudades, y zonas rurales.

Algo parecido ocurre con la generación eléctrica. Las tecnologías eólica y solar ya se encuentran ampliamente desarrolladas, pero integrar grandes proporciones de generación variable exige ampliar redes, almacenamiento, interconexiones, sistemas de respaldo, y mecanismos capaces de equilibrar oferta y demanda. Estas transformaciones requieren inversiones públicas y privadas que, de una forma u otra, terminan formando parte de los costos de nuestra economía. Presentarlas como si fueran gratuitas para el consumidor tampoco ayudaría a tener un debate especialmente transparente.

Para las empresas, modificar procesos productivos también implica costos, riesgos, nuevas tecnologías, capacitación, y cambios de proveedores. Algunas transformaciones pueden reducir gastos con el tiempo; otras requieren inversiones cuyo retorno demora años. Por eso, esperar que todas las industrias cambien espontáneamente solo por considerar beneficios ambientales sería poco realista. Los incentivos económicos, la regulación, las exigencias de los compradores, la competencia, y la innovación tecnológica actúan simultáneamente sobre estas decisiones.

Los consumidores participan en este sistema, pero su poder tampoco es absoluto. Nuestras compras envían señales al mercado, especialmente cuando millones de personas comienzan a modificar sus preferencias, pero solamente podemos elegir entre las alternativas que alguien pone a nuestra disposición. Una empresa puede responder a nuevas demandas, adelantarse a ellas, ignorarlas, o encontrarse limitada por sus propios costos y tecnologías. Por eso, reducir la sostenibilidad a “comprar correctamente” deja fuera buena parte de la estructura que determina cómo se producen nuestros bienes.

Más allá de estas decisiones de consumo, existen prácticas industriales que pueden acortar la vida útil de los productos y aumentar innecesariamente la generación de residuos. Aquí aparece la llamada obsolescencia programada, aunque conviene utilizar el término con precisión. En su sentido más estricto, implica una decisión deliberada de diseño destinada a limitar la duración útil de un producto o provocar que pierda funcionalidad antes de lo técnicamente necesario.

En la práctica, el reemplazo prematuro puede aparecer por muchas vías diferentes. Una batería difícil de sustituir, la desaparición de repuestos, costos de reparación desproporcionados, incompatibilidades de software, pérdida temprana de actualizaciones, componentes imposibles de reemplazar individualmente, y determinadas decisiones de diseño pueden reducir la cantidad de años durante los cuales seguimos utilizando un dispositivo. Existe además la llamada obsolescencia percibida ⁸, donde un producto todavía funcional comienza a parecer viejo o poco atractivo frente a modelos más recientes.

La diferencia importa. Un teléfono que deja de funcionar porque un componente alcanzó naturalmente el final de su vida útil plantea un problema distinto a un aparato cuya reparación fue dificultada deliberadamente. Y un consumidor que decide reemplazar un dispositivo por moda tampoco se encuentra en la misma situación que otro cuyo equipo perdió soporte esencial. Agrupar todos estos fenómenos bajo una única conspiración industrial puede resultar atractivo, pero nos impide identificar qué mecanismos concretos deberíamos corregir.

Existe, naturalmente, una tensión económica detrás de la durabilidad. Las empresas necesitan vender productos y mantener ingresos, mientras que un modelo de economía circular intenta extender la vida útil de aquello que ya fabricamos. Sin embargo, de esa tensión no se desprende que las empresas necesiten diseñar productos para fallar.

⁸ La obsolescencia percibida describe el reemplazo de productos que continúan siendo funcionales debido a cambios estéticos, tendencias, nuevas prestaciones, publicidad, o modificaciones en las expectativas del consumidor. Puede ser incentivada comercialmente, pero debe distinguirse de una limitación técnica deliberada de la vida útil del producto.

Reparaciones, repuestos, actualizaciones, reacondicionamiento, mejoras parciales, servicios asociados, nuevos clientes, y nuevas generaciones de productos pueden sostener actividad económica sin exigir que cada dispositivo anterior se vuelva prematuramente inútil.

De hecho, la dificultad de reparar bienes se ha convertido en un problema suficientemente importante como para generar nuevas regulaciones. La Unión Europea aprobó en 2024 una Directiva sobre el derecho a reparar, que exige facilitar la reparación de determinados productos, mejorar el acceso a piezas de repuesto, y ampliar en al menos doce meses el período de responsabilidad del vendedor cuando el consumidor elige reparar. Los Estados miembros debían incorporarla a sus legislaciones nacionales antes del 31 de julio de 2026.

La escala ambiental ayuda a entender por qué existe este interés. El Consejo de la Unión Europea estima que el descarte prematuro de bienes reparables genera alrededor de 35 millones de toneladas de residuos, consume unos 30 millones de toneladas de recursos, y produce aproximadamente 261 millones de toneladas de gases de efecto invernadero cada año dentro de la Unión Europea. Son cifras suficientemente grandes como para transformar la reparación y la durabilidad en asuntos ambientales, económicos, y de protección al consumidor.

También se han adoptado normas contra determinadas prácticas asociadas con la obsolescencia temprana y para mejorar la información sobre durabilidad y reparabilidad. Esto muestra que la crítica inicial posee una base legítima: el consumidor difícilmente pueda reducir sus residuos cuando los productos están diseñados de manera que repararlos resulta imposible o absurdamente caro. La responsabilidad debe alcanzar entonces al diseño, la fabricación, el acceso a repuestos, el soporte, y la gestión del producto al final de su vida útil.

Desde CERLI, creemos que este es un buen ejemplo de por qué la sostenibilidad pierde fuerza cuando se presenta únicamente como una sucesión de sacrificios individuales. Podemos consumir con mayor cuidado, mantener nuestros dispositivos durante más tiempo, y reparar

cuando sea razonable, pero esas decisiones funcionan mucho mejor cuando el propio sistema facilita hacerlas. La pregunta útil deja de ser quién debe cargar con toda la culpa y pasa a ser cómo distribuimos responsabilidades de forma que producir, consumir, reparar, y desechar generen cada vez menos residuos.

5. *“¿De verdad todas las especies son tan importantes en el ecosistema? Puedo comprender que, quizá, la caza de tigres blancos pueda extinguirlos porque son muy pocos. Pero ¿realmente es algo tan malo cazar ciervos o lobos? De esos hay muchos. Cazar un par no va a cambiar nada.”*

Una de las ideas que hemos repetido a lo largo de este informe es que los ecosistemas funcionan mediante redes de relaciones. Una especie puede servir como alimento para otra, dispersar semillas, modificar la vegetación, competir por recursos, alterar el suelo, o influir sobre poblaciones que aparentemente se encuentran muy alejadas de ella. Por eso utilizamos con frecuencia la imagen del “efecto dominó”⁹: tocar una pieza puede producir consecuencias en otras partes del sistema.

Pero debemos evitar llevar la metáfora demasiado lejos. Retirar un individuo de una población abundante no provoca automáticamente una catástrofe ecológica. El efecto depende de la especie, el tamaño y distribución de su población, su velocidad de reproducción, la edad y sexo de los ejemplares extraídos, el momento del año, la presencia de depredadores, la calidad del hábitat, y la intensidad con la que se produce esa extracción.

La caza recreativa agrega además una discusión ética que cada sociedad puede valorar de manera diferente. Desde el punto de vista estrictamente ecológico, sin embargo, la pregunta principal es otra: ¿qué

⁹ El efecto dominó es una forma didáctica de referirnos a una reacción en cadena; un evento inicial que desencadena una serie de otros elementos cercanos, pero que luego acaban teniendo un impacto sobre otros muy lejanos. Su nombre se lo debemos al dominó; un juego de fichas donde, tras colocarlas en fila siguiendo un patrón, y derribar la primera de ellas, todas irán cayendo hasta que todas acaben derribadas.

efecto produce esa extracción sobre la población y sobre el ecosistema? Una caza excesiva, mal regulada, selectiva sobre determinados ejemplares, o aplicada sobre especies vulnerables puede causar daños importantes. En otros contextos, una extracción limitada y científicamente gestionada puede mantenerse dentro de niveles compatibles con la conservación.

La Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza reconoce el uso sostenible de especies silvestres, incluyendo distintas formas de caza, como una herramienta que puede ser compatible con la conservación cuando mantiene la viabilidad de las poblaciones y de los ecosistemas asociados. Del mismo modo, la Unión Europea admite determinadas formas de caza bajo criterios de sostenibilidad y conservación. La abundancia de una especie, por sí sola, tampoco alcanza para decidir cuánto puede extraerse de una población.

La regulación se vuelve especialmente importante cuando los cazadores seleccionan determinados tamaños, edades, o sexos. Una extracción sesgada puede modificar la estructura demográfica de una población e incluso alterar determinadas características biológicas con el paso del tiempo. Por eso, los programas de manejo utilizan datos sobre abundancia, reproducción, mortalidad, distribución, y estado del hábitat para decidir cuándo una extracción puede realizarse, cuántos ejemplares pueden retirarse, y qué restricciones deberían aplicarse.

En algunos lugares, la caza regulada también se utiliza como herramienta de manejo cuando determinadas poblaciones alcanzan densidades capaces de provocar daños agrícolas, aumentar conflictos con las personas, favorecer determinadas enfermedades, o ejercer una presión excesiva sobre la vegetación. El Servicio de Pesca y Vida Silvestre de Estados Unidos, por ejemplo, reconoce explícitamente a la caza regulada como una de las herramientas disponibles para gestionar poblaciones bajo criterios científicos.

Yellowstone ofrece un caso mucho más interesante para comprender esta complejidad. Los lobos fueron eliminados del parque durante las primeras décadas del siglo XX, mientras diferentes políticas de manejo,

la caza fuera de sus límites, las condiciones climáticas, y los cambios en las poblaciones de otros depredadores también influían sobre los grandes herbívoros. Décadas después, el parque comenzó un programa destinado a recuperar una pieza que había desaparecido de esa red ecológica.

En 1995 se trasladaron a Yellowstone 14 lobos procedentes de Canadá, y en 1996 llegaron otros 17, completando los 31 ejemplares de la primera fase del programa. Diez lobos adicionales procedentes de Montana fueron incorporados en 1997. La recuperación permitió observar nuevamente cómo un gran depredador podía influir sobre alces, bisontes, carroñeros, otros depredadores, y diferentes componentes de la vegetación.

Los lobos contribuyeron a reducir y modificar el comportamiento de determinadas poblaciones de alces, y varios estudios encontraron una recuperación de sauces y álamos en algunas zonas. Sin embargo, la famosa historia de que “los lobos cambiaron los ríos” simplifica demasiado lo ocurrido. El propio Servicio de Parques Nacionales señala que continúan existiendo debates sobre cuánto de la recuperación vegetal puede atribuirse a los lobos y cuánto depende de otros factores, incluyendo agua subterránea, clima, otros depredadores, caza humana, y cambios en las propias poblaciones de herbívoros.

Esa complejidad vuelve al ejemplo mucho más útil. Hoy, los alces de Yellowstone están regulados simultáneamente por lobos, pumas, osos, condiciones meteorológicas, disponibilidad de alimento, y actividad humana fuera del parque. La recuperación de los lobos restauró una interacción ecológica importante, pero difícilmente podemos atribuir cada cambio posterior del ecosistema a una sola especie. Precisamente ahí está la lección: intervenir sobre una población requiere comprender tantas relaciones como sea posible antes de asumir qué consecuencias tendrá.

¿Qué podemos responder entonces a la crítica original? Que “cazar un par” de animales puede tener efectos completamente distintos dependiendo del contexto. En una población numerosa, estable, y

gestionada mediante cuotas basadas en evidencia, una extracción limitada puede representar una fracción ecológicamente pequeña. En una población aislada, vulnerable, sometida a otras presiones, o cuya estructura reproductiva ya se encuentra alterada, incluso una extracción aparentemente modesta puede tener consecuencias mucho mayores.

La sostenibilidad nos obliga, justamente, a escapar de ambas simplificaciones. Ni toda extracción de fauna es automáticamente inocua porque una especie parezca abundante, ni toda forma de caza produce inevitablemente un deterioro ecológico. La pregunta correcta requiere datos sobre la población, el ecosistema, el método utilizado, la intensidad de la extracción, y la capacidad de mantener esos niveles a lo largo del tiempo.

6. *“¿Volverse vegetariano? ¡De ninguna manera! La carne es fundamental para nuestro organismo, ya que aporta proteínas que ningún vegetal puede aportar. Además, aunque no fuera así, a mí me gusta la carne. ¿De verdad van a hacerme sacrificar cada cosa que disfruto por el bien de un planeta en el que, eventualmente, dejaré de vivir?”*

Este es otro gran ejemplo de cómo distintos debates pueden terminar mezclándose hasta parecer uno solo. Una parte importante del movimiento animalista persigue un objetivo ético bastante claro: reducir o eliminar el consumo de productos de origen animal. Esa postura puede defenderse desde la consideración moral hacia los animales, y cada persona podrá compartirla o rechazarla según sus propias convicciones. El problema aparece cuando la sostenibilidad se utiliza como una bandera adicional para presentar esa elección ética como si fuera la única conclusión posible desde el punto de vista ambiental.

En algunas campañas, esta mezcla ha terminado instalando la idea de que llevar una vida sostenible exige necesariamente adoptar una dieta vegetariana o vegana. Y esa conclusión va bastante más lejos de lo que permiten los datos. La ganadería posee impactos ambientales

importantes, y reducir determinados tipos de consumo puede disminuirlos considerablemente. Pero entre reconocer esos impactos y concluir que toda persona comprometida con la sostenibilidad debe abandonar por completo la carne existe un salto que la evidencia ambiental, por sí sola, no obliga a dar.

En CERLI defendemos que el contexto de los datos importa tanto como la cifra utilizada para generar impacto. Por eso, antes de convertir una decisión alimentaria en una prueba de compromiso ecológico, vale la pena revisar qué sabemos realmente sobre la ganadería, cuánto depende del tipo de producción, y qué cambia cuando modificamos nuestra dieta. Comencemos por uno de los argumentos más repetidos: el consumo de agua.

Uno de los datos más repetidos afirma que producir un kilogramo de carne bovina requiere alrededor de quince mil litros de agua. La cifra existe y proviene de trabajos de Mesfin Mekonnen y Arjen Hoekstra sobre huella hídrica de productos agrícolas y ganaderos. Su promedio mundial para la carne bovina fue de 15.415 litros por kilogramo, mientras que para las legumbres calcularon aproximadamente 4.055 litros por kilogramo. A primera vista, la diferencia parece enorme, y efectivamente lo es. Pero todavía falta comprender qué estamos sumando.

Los autores dividen la huella hídrica en tres componentes. El agua verde corresponde al agua de lluvia almacenada en el suelo y utilizada por las plantas. El agua azul procede de ríos, lagos, embalses, y acuíferos. Finalmente, el agua gris representa un volumen teórico de agua necesario para diluir contaminantes hasta determinados estándares de calidad. Por lo tanto, los tres valores miden cosas relacionadas, pero ambientalmente diferentes.

Para la carne bovina, el promedio mundial calculado fue de 14.414 litros de agua verde, 550 de agua azul, y 451 de agua gris por kilogramo. Para las legumbres, los valores fueron 3.180 litros verdes, 141 azules, y 734 grises. Incluso comparando únicamente el agua azul mediante la misma metodología, la carne bovina mantiene una huella cercana a

cuatro veces la de las legumbres por kilogramo. Y al comparar por gramo de proteína, el mismo estudio estima una huella hídrica total aproximadamente seis veces mayor para la carne bovina.

Esto tampoco significa que podamos mirar los 15.415 litros como si todos representaran agua potable retirada de un río. El impacto de una huella hídrica depende de dónde, cuándo, y de qué manera se utiliza el agua. Extraer quinientos litros de un acuífero sometido a fuerte estrés hídrico puede resultar mucho más problemático que utilizar una cantidad superior de lluvia en una región donde el agua es abundante. Por eso, una cifra mundial es útil para comparar órdenes de magnitud, pero no describe por sí sola el impacto de cada sistema ganadero.

El agua verde también posee un costo de oportunidad. Una pastura puede utilizar lluvia para alimentar ganado, conservarse como ecosistema natural, o, bajo ciertas condiciones, destinarse a otros usos. Pero aquí también debemos evitar simplificaciones, ya que muchas tierras de pastoreo no son adecuadas para cultivar alimentos destinados directamente al consumo humano. Los rumiantes poseen precisamente la capacidad de transformar pastos, forrajes, y otras fibras que nosotros no podemos digerir en alimentos aprovechables.

La pregunta ambiental termina siendo mucho más interesante que la cifra aislada. Importan el origen del alimento del ganado, la disponibilidad local de agua, la presión sobre acuíferos y ríos, el uso previo del terreno, la posible deforestación, y la productividad del sistema. Una vaca criada sobre una pastura natural y otra alimentada con cultivos irrigados en una región seca pueden producir el mismo kilogramo de carne y tener impactos hídricos completamente distintos.

La huella hídrica es apenas una parte de la discusión. La ganadería también contribuye de forma importante a las emisiones de gases de efecto invernadero, especialmente mediante el metano. La FAO estima que los sistemas ganaderos generan alrededor del 32 % de las emisiones antropogénicas mundiales de metano, principalmente a través de la fermentación entérica y del manejo del estiércol.

La fermentación entérica ocurre durante la digestión de los rumiantes, como vacas, ovejas, cabras, y búfalos. Los microorganismos presentes en el rumen descomponen los alimentos y producen metano como subproducto, que posteriormente es expulsado por el animal, principalmente mediante eructos. El estiércol, por otra parte, puede generar metano cuando se almacena o descompone en condiciones con poco oxígeno; además, su contenido de nitrógeno puede favorecer emisiones de óxido nitroso bajo determinadas condiciones.

Para comparar alimentos se utiliza habitualmente la unidad kg CO₂-eq/kg ¹⁰, que permite expresar distintos gases de efecto invernadero mediante una unidad común. En los datos de Poore y Nemecek procesados por *Our World in Data*, la carne bovina procedente de rodeos destinados específicamente a carne alcanza un promedio aproximado de 99,5 kg CO₂-eq por kilogramo de producto. La carne bovina procedente de rodeos lecheros presenta un valor considerablemente menor, de unos 33,3 kg CO₂-eq/kg, lo que ya muestra cuánto puede variar una misma categoría según el sistema productivo.

En esa misma base, el cordero y la carne ovina rondan los 39,7 kg CO₂-eq/kg, la carne de cerdo los 12,3, y la carne de pollo aproximadamente 9,9. Las legumbres aparecen muy por debajo: el grupo denominado “otras legumbres” se sitúa alrededor de 1,8 kg CO₂-eq/kg. Son promedios mundiales, y existe una variación considerable entre productores, regiones, y métodos de producción, pero la diferencia general entre carnes de rumiantes y la mayoría de los alimentos vegetales resulta muy marcada.

Estos datos apuntan hacia una conclusión bastante menos dramática que la idea de que toda persona sostenible debe abandonar inmediatamente la carne. Reducir la frecuencia o cantidad de alimentos con una huella especialmente alta, sobre todo la carne de rumiantes, puede disminuir de forma importante las emisiones asociadas con nuestra alimentación. El efecto concreto dependerá de qué

¹⁰ El dióxido de carbono equivalente (CO₂-eq) permite expresar distintos gases de efecto invernadero según el calentamiento que producen en comparación con el CO₂ durante un periodo determinado. De esta manera, emisiones de metano, óxido nitroso, y dióxido de carbono pueden incorporarse a una misma medida para comparar el impacto climático de diferentes productos o procesos.

consumíamos antes, qué alimento utilizamos como sustituto, cuánto reducimos, y cómo fueron producidos ambos productos.

En el estudio sobre dietas suecas *“Sustainability benefits of transitioning from current diets to plant-based alternatives or whole-food diets in Sweden”*, publicado en Nature Communications en 2024, distintos escenarios flexitarianos redujeron aproximadamente entre 20 % y 30 % las emisiones alimentarias, mientras los escenarios veganos estudiados alcanzaron reducciones entre el 52 % y el 56 %. Una diferencia perfectamente asumible teniendo en cuenta que, en el caso de una dieta flexitariana, se siguen consumiendo productos de origen animal ocasionalmente.

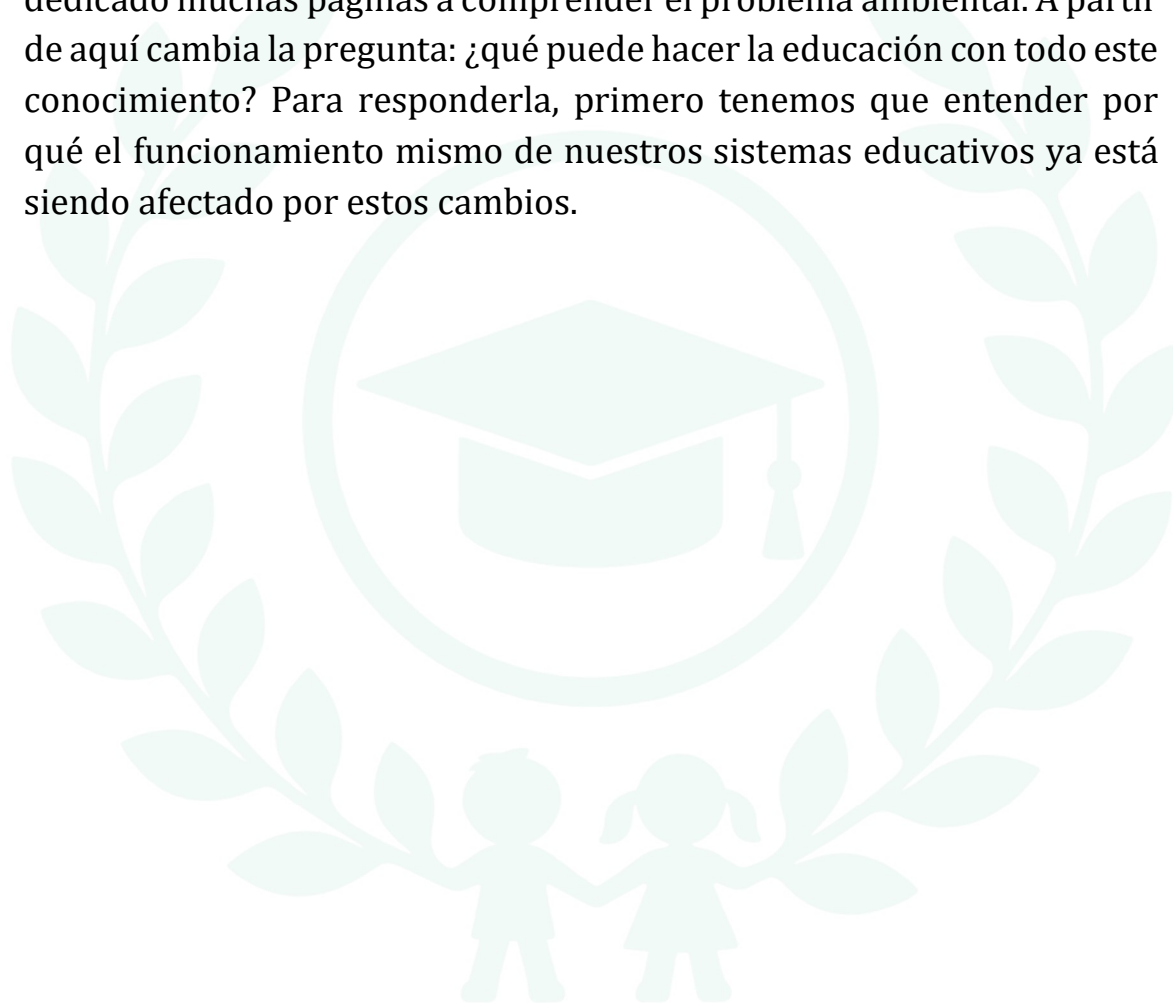
Desde una perspectiva de educación ambiental, la herramienta más útil es comprender estas diferencias y decidir con información. Una persona puede reducir mucho su consumo de carne, otra puede concentrarse especialmente en la carne bovina, y otra puede adoptar una dieta vegetariana o vegana. Todas esas decisiones poseen impactos diferentes. Convertir una de ellas en la única prueba posible de compromiso ambiental terminaría simplificando exactamente el tipo de problema que esta sección intenta explicar.



Después de recorrer estos seis argumentos, aparece una conclusión bastante más interesante que dividir el debate entre quienes “entienden” la sostenibilidad y quienes no. Algunas críticas se debilitan considerablemente cuando revisamos la evidencia. Otras contienen una preocupación legítima escondida detrás de una conclusión exagerada. También encontramos casos donde las propias campañas ambientales han comunicado mal los datos, distribuido responsabilidades de forma injusta, o convertido cuestiones complejas en consignas demasiado sencillas.

Para CERLI, esa diferencia es fundamental. La educación ambiental debería darnos herramientas para preguntar de dónde sale una cifra, qué está midiendo, qué quedó fuera, qué intereses existen alrededor del problema, y hasta dónde llega realmente la evidencia. Una persona informada puede seguir discrepando sobre costos, prioridades, valores, o políticas concretas, pero al menos estará discutiendo sobre el problema real y no sobre una caricatura del mismo.

Y ahí llegamos al punto central de este informe. Hasta ahora hemos dedicado muchas páginas a comprender el problema ambiental. A partir de aquí cambia la pregunta: ¿qué puede hacer la educación con todo este conocimiento? Para responderla, primero tenemos que entender por qué el funcionamiento mismo de nuestros sistemas educativos ya está siendo afectado por estos cambios.



Fundamentos de la educación ambiental

Existe una relación cada vez más visible entre las condiciones ambientales y el funcionamiento de nuestros sistemas educativos. Olas de calor, inundaciones, tormentas, sequías, incendios, y otros fenómenos pueden cerrar escuelas, dañar infraestructura, modificar calendarios, dificultar el transporte, y afectar directamente las condiciones en las que un estudiante intenta aprender. La educación ambiental comienza entonces con una paradoja interesante: mientras intentamos enseñar a las nuevas generaciones cómo relacionarse mejor con su entorno, ese mismo entorno está modificando las condiciones en las que podemos educarlas.

Vayamos desde lo más visible. En su informe *“Learning Interrupted: Global Snapshot of Climate-Related School Disruptions in 2024”*, UNICEF estimó que al menos 242 millones de estudiantes de 85 países o territorios sufrieron interrupciones educativas provocadas por fenómenos climáticos durante 2024. Esto equivale aproximadamente a uno de cada siete estudiantes del mundo. Las olas de calor fueron el fenómeno que afectó a más alumnos, alcanzando a unos 171 millones a lo largo del año.

La distribución del impacto tampoco fue uniforme. Aproximadamente el 74 % de los 242 millones de estudiantes afectados vivía en países de ingresos bajos o medios-bajos, donde los sistemas educativos suelen disponer de menos recursos para recuperar clases perdidas, reparar infraestructura, o trasladar temporalmente sus actividades. El desafío ya no consiste únicamente en construir escuelas y formar docentes. También debemos aprender a mantener la educación funcionando

cuando las condiciones que la rodean dejan de comportarse como esperábamos.

Hablamos de edificios capaces de soportar determinados peligros, sistemas de alerta, protocolos de evacuación, alternativas temporales de aprendizaje, infraestructura preparada para temperaturas extremas, y mecanismos capaces de mantener cierta continuidad cuando una escuela debe cerrar. Buena parte de estos problemas los hemos desarrollado con mayor profundidad en nuestro informe Educación en Emergencias; Catástrofes y Refugiados, donde analizamos qué ocurre cuando un sistema educativo debe continuar funcionando bajo circunstancias para las que originalmente no fue diseñado.

La escala vuelve a ser reveladora. El Banco Mundial estimó que más de cuatrocientos millones de estudiantes experimentaron cierres de escuelas relacionados con fenómenos meteorológicos extremos entre 2022 y 2024. En los países de ingresos bajos, un estudiante afectado perdió en promedio alrededor de 18 días lectivos por año, frente a unos 2,4 días en los países de mayores ingresos. La misma amenaza ambiental puede producir, por lo tanto, consecuencias educativas radicalmente distintas dependiendo de la capacidad de respuesta del sistema.

Adaptarse también requiere dinero. El Banco Mundial calcula que una inversión única de aproximadamente 18,51 dólares por estudiante permitiría implementar un conjunto de medidas destinadas a reducir pérdidas de aprendizaje frente a impactos climáticos, incluyendo mejoras de infraestructura, control de temperatura, planificación, y capacitación docente. Visto individualmente parece una cifra pequeña; multiplicada por sistemas educativos completos, representa una nueva necesidad presupuestaria que compite con muchas otras prioridades igualmente importantes.

Esto tampoco significa que los sistemas educativos pudieran olvidarse de las emergencias en ausencia del cambio climático. Inundaciones, terremotos, tormentas, sequías, incendios, y otros peligros han acompañado a las sociedades desde mucho antes de la industrialización. Lo que cambia con un clima más cálido es la

exposición a determinados fenómenos, su intensidad o frecuencia en algunas regiones, y la necesidad de incorporar esa incertidumbre de manera permanente dentro de la planificación educativa.

Podemos imaginarlo como una escuela construida al borde de un río cuyo comportamiento comienza a cambiar. Tal vez podamos elevar instalaciones, mejorar drenajes, diseñar rutas de evacuación, instalar sistemas de alerta, y desarrollar alternativas de enseñanza para los días en que sea imposible llegar al edificio. Todas esas medidas son útiles y, en determinados lugares, imprescindibles. Pero también consumen recursos que antes podían destinarse a docentes, materiales, infraestructura, tecnología, alimentación, o cualquier otra necesidad educativa.

El problema se vuelve especialmente delicado porque muchos sistemas ya trabajan con presupuestos limitados. *El Global Education Monitoring Report* de UNESCO señala que la mediana del gasto público en educación cayó del 4,4 % al 4 % del PIB entre 2015 y 2022, mientras la participación de la educación dentro del gasto público total pasó del 13,2 % al 12,6 %. Al mismo tiempo, análisis recogidos por el Banco Mundial indican que apenas alrededor del 1,5 % de la financiación climática llega al sector educativo.

Esta es la relación que nos interesa destacar. Cada escuela que debe reconstruirse, cada calendario que debe reorganizarse, y cada sistema que necesita nuevas medidas de adaptación representa también una decisión sobre recursos educativos. La resiliencia es necesaria y puede proteger enormemente el aprendizaje, pero sería extraño celebrar que tengamos que invertir cada vez más en defender la educación frente a un problema que, simultáneamente, estamos intentando contener.

Pero ¿hasta dónde puede llegar este problema? ¿De cuánto tiempo disponemos? ¿Y cuánto sabemos realmente sobre aquello que podría ocurrir? Las cuestiones climáticas suelen comunicarse mediante escenarios extremos porque sus consecuencias potenciales son enormes. En CERLI entendemos el conocimiento como un derecho, y creemos que la urgencia pierde fuerza cuando necesita exageraciones

para sostenerse. Tenemos suficiente evidencia para preocuparnos sin agregar certezas allí donde la ciencia todavía trabaja con probabilidades. Uno de los mejores ejemplos son los llamados puntos de inflexión climáticos, o *tipping points*. Se trata de umbrales a partir de los cuales determinados componentes del sistema pueden sufrir cambios grandes y autosostenidos después de una perturbación relativamente pequeña. Algunos procesos podrían resultar extremadamente difíciles de revertir durante siglos o milenios; otros presentan comportamientos diferentes ¹¹.

Para nosotros, los *tipping points* son conceptos muy peligrosos. A diferencia de otros conceptos como la huella de carbono, que varían según la actividad humana y pueden detenerse o reducirse con un cambio sostenido, un punto de inflexión funciona más como un interruptor: una vez se cambia de estado, el sistema no vuelve por sí solo a su estado anterior. Pero su importancia está precisamente en la combinación entre consecuencia e incertidumbre. Podemos estimar rangos de riesgo utilizando observaciones, registros paleoclimáticos, modelos, y conocimiento físico, pero rara vez conocemos una temperatura exacta que funcione como frontera universal. En algunos casos ni siquiera sabemos si la transición será abrupta, gradual, regional, o capaz de propagarse hacia otros componentes del sistema.

La Amazonia muestra perfectamente por qué resulta peligroso buscar un único número mágico. Su estabilidad depende simultáneamente del calentamiento global, las precipitaciones, la duración de la estación seca, la deforestación, los incendios, y otras perturbaciones. El estudio *“Critical transitions in the Amazon forest system”*, publicado en Nature en 2024, estimó que, para 2050, entre 10 % y 47 % de los bosques amazónicos podrían quedar expuestos a combinaciones de presiones capaces de favorecer transiciones ecológicas inesperadas.

Un estudio posterior, *“Deforestation-induced drying lowers Amazon climate threshold”*, publicado en Nature en mayo de 2026, encontró que,

¹¹ El IPCC utiliza el concepto de punto de inflexión para describir umbrales críticos asociados con cambios cualitativos en el estado o desarrollo de un sistema. La velocidad y reversibilidad del cambio dependen del componente climático considerado.

en su modelo, el calentamiento por sí solo producía un umbral crítico alrededor de 3,7 a 4 °C. Cuando se incorporaba una deforestación acumulada de entre 22 % y 28 %, aparecían transiciones generalizadas con un calentamiento mucho menor, de aproximadamente 1,5 a 1,9 °C. Esto muestra cuánto puede cambiar el riesgo cuando varias presiones actúan simultáneamente.

Otro componente muy estudiado es la Circulación de Volcamiento Meridional del Atlántico (AMOC), un enorme sistema de corrientes que transporta calor, agua, sal, y carbono a través del Atlántico. El IPCC considera muy probable que se debilite durante el siglo XXI, aunque existe una incertidumbre considerable sobre cuánto. Su evaluación mantiene una confianza media en que ese debilitamiento no producirá un colapso abrupto antes del año 2100.

Investigaciones publicadas en 2025 reforzaron esta cautela. Simulaciones realizadas con 34 modelos climáticos encontraron mecanismos capaces de mantener una AMOC debilitada incluso bajo condiciones climáticas extremas, sugiriendo que un colapso completo durante este siglo es menos probable de lo que algunos trabajos anteriores habían planteado. Esto tampoco vuelve irrelevante su debilitamiento: una alteración importante de la circulación puede modificar temperaturas, precipitaciones, ecosistemas marinos, y patrones climáticos regionales sin necesidad de llegar a un colapso absoluto.

Aquí aparece quizá la característica más incómoda de los puntos de inflexión: conocemos suficientemente bien algunos mecanismos como para reconocer el riesgo, pero todavía existen márgenes amplios de incertidumbre sobre sus umbrales exactos. Y esa incertidumbre funciona en ambas direcciones. Puede ocurrir que un sistema resulte más resistente de lo previsto, como sugieren algunos estudios recientes sobre la AMOC. También puede ocurrir que varias presiones interactúen y reduzcan el margen disponible, como muestran algunas simulaciones de la Amazonia.

En 2022, un estudio publicado en Science titulado *“Exceeding 1.5°C global warming could trigger multiple climate tipping points”* reunió evidencia sobre distintos componentes susceptibles de experimentar estas transiciones. Sus autores concluyeron que el calentamiento de aproximadamente 1,1 °C observado entonces ya se encontraba dentro del extremo inferior de los rangos de incertidumbre estimados para algunos puntos de inflexión, y que varios podrían comenzar a activarse dentro del intervalo de 1,5 a 2 °C.

Así que, en efecto, estamos en un campo minado. Pero también es cierto que no conocemos con exactitud dónde se encuentra cada umbral, y tampoco todas las “minas” poseen el mismo tamaño, probabilidad, o consecuencia. Pero sabemos algo importante: a medida que aumenta el calentamiento, crece también la posibilidad de respuestas abruptas y de eventos de baja probabilidad pero enorme impacto. El IPCC considera que ese riesgo aumenta progresivamente con cada nivel adicional de calentamiento.

Por eso, disminuir el calentamiento futuro tiene valor incluso cuando no podemos identificar una frontera perfectamente precisa. Cada fracción de grado modifica probabilidades, intensidades, y riesgos. La incertidumbre científica, en este caso, significa que conocemos un rango de posibilidades y debemos tomar decisiones sin disponer todavía de todas las respuestas. En cierto sentido, mientras menos contribuyamos a los factores relevantes en el cambio climático, menos probable es que crucemos umbrales límite.

La principal referencia internacional continúa siendo el Acuerdo de París, que actualmente cuenta con 194 Partes. Su objetivo establece mantener el aumento de la temperatura media mundial muy por debajo de 2 °C respecto de los niveles preindustriales, y realizar esfuerzos para limitarlo a 1,5 °C. Esto es ligeramente diferente a decir que los países se comprometieron a impedir que la temperatura supere 1,5 °C en cualquier año concreto.

Esa distinción ya resulta particularmente importante. La Organización Meteorológica Mundial estimó en 2025 una probabilidad

del 86 % de que al menos uno de los años entre 2025 y 2029 supere temporalmente los 1,5 °C, y un 70 % de que el promedio del quinquenio también lo haga. Sin embargo, la propia OMM aclaró que el calentamiento a largo plazo, calculado sobre periodos mucho mayores, todavía permanecía por debajo de ese nivel. Un año excepcionalmente cálido y el objetivo climático de largo plazo miden cosas diferentes.

También debemos precisar qué significa el conocido horizonte de 2050. El IPCC no plantea eliminar absolutamente toda “huella de carbono” humana para esa fecha. Los escenarios que limitan el calentamiento a 1,5 °C con poco o ningún sobrepaso alcanzan, en promedio, emisiones netas globales de CO₂ iguales a cero durante los primeros años de la década de 2050, acompañadas por reducciones profundas de otros gases de efecto invernadero. Las emisiones residuales que permanecen deben ser compensadas mediante remociones equivalentes de dióxido de carbono.

Y aquí aparece un segundo reloj que sí pertenece directamente a la educación. La Agenda 2030 establece en su meta 4.7 que, para 2030, los estudiantes deberían adquirir conocimientos y competencias relacionados con el desarrollo sostenible y los estilos de vida sostenibles, entre otras dimensiones. Ese plazo no coincide exactamente con los horizontes climáticos, pero ambos colocan a la educación dentro de una transformación que está ocurriendo ahora, y cuyos resultados necesitan muchos años para madurar.

Si la educación ambiental pretende formar a quienes deberán comprender y gestionar buena parte de estos desafíos durante las próximas décadas, el presente representa una ventana especialmente importante. Sabemos que la educación transforma lentamente conocimientos, hábitos, capacidades, y culturas; justamente por eso conviene comenzar antes de necesitar resultados inmediatos.

¿Cómo deberán actuar entonces los actores educativos? ¿Cuáles son las bases para construir una educación sostenible? Veamos las respuestas a tan importantes cuestionamientos.

Un modelo educativo verde

Ya comprendimos la importancia de estar bien informados sobre el medio ambiente, su conservación, sus efectos, y los estilos de vida sostenibles. Pero ¿cómo logramos que ese conocimiento abandone el plano teórico y termine influyendo sobre la forma en que actuamos? Si has leído alguno de nuestros informes anteriores, probablemente ya conozcas nuestra respuesta: mediante la educación. La ventaja es que, en este campo, tampoco necesitamos comenzar desde cero. Hace décadas que distintos sistemas educativos experimentan con huertas, proyectos comunitarios, reciclaje, conservación, eficiencia energética, aprendizaje al aire libre, y muchas otras propuestas ambientales.

Y hoy tenemos suficiente evidencia como para preguntarnos qué resultados están produciendo. El estudio *“Does environmental education benefit environmental outcomes in children and adolescents? A meta-analysis”*, publicado en 2022 en el Journal of Environmental Psychology, reunió 169 estudios, 512 efectos medidos, y 176.007 participantes menores de veinte años en 43 países. En conjunto, la educación ambiental produjo mejoras significativas en conocimiento, actitudes, intenciones, y comportamientos ambientales. La mejora fue especialmente grande en el conocimiento, mientras los efectos sobre las conductas fueron positivos pero más modestos.

Esto último merece atención porque, aunque enseñar funciona, saber más sobre un problema no garantiza automáticamente que una persona cambie su comportamiento. Entre comprender que un residuo debe separarse y adquirir realmente el hábito de hacerlo existe una distancia que la educación debe aprender a recorrer. Ahí comienzan a importar la

experiencia, la autonomía, el contexto, las emociones, y la posibilidad de convertir una idea abstracta en una acción reconocible dentro de la vida cotidiana.

Uno de los principios que aparece repetidamente en las propuestas actuales es la participación activa. UNESCO, en su guía *“Greening curriculum guidance: Teaching and learning for climate action”*, publicada en 2024, propone una educación climática centrada en el estudiante, participativa, orientada a la acción, basada en problemas, y capaz de conectar los contenidos con las experiencias personales y el entorno natural de quien aprende. La intención es que el estudiante pueda investigar, discutir, experimentar, tomar decisiones, y observar las consecuencias de aquello que hace.

Pensemos en algo tan sencillo como separar residuos. Podemos explicar qué materiales son reciclables, pedir que memoricen diferentes categorías, y evaluar después si recuerdan la clasificación. Pero también podemos entregarles residuos reales, pedirles que investiguen qué ocurre con cada uno en su propia ciudad, descubrir qué acepta efectivamente el sistema local, diseñar una clasificación para la escuela, y medir cuánto material logra recuperarse. El contenido científico puede ser similar; la segunda experiencia obliga al estudiante a utilizarlo para resolver un problema tangible.

Esto tampoco significa que cualquier actividad práctica sea automáticamente superior a una explicación bien diseñada. El metaanálisis de 2022 que acabamos de mencionar encontró una gran variabilidad entre los programas ambientales y no logró identificar un único enfoque pedagógico que explicara por sí solo cuáles obtenían mejores resultados. La participación activa es una herramienta con ventajas importantes, pero su calidad depende de qué hacen los estudiantes, qué aprenden durante el proceso, y cómo se integra la experiencia con los objetivos educativos ¹².

¹² Autores como Piaget, Vygotsky, Kolb, y muchos otros ya utilizaban los principios del aprendizaje activo y el constructivismo como estrategias de enseñanza mediante proyectos y experiencias. Estos efectos están fuertemente documentados y revisados, haciendo del aprendizaje activo una propuesta objetivamente mejor que su alternativa pasiva.

Fuera del campo ambiental también encontramos evidencia considerable a favor del aprendizaje activo. El estudio *“Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics”*, publicado en 2014 en Proceedings of the National Academy of Sciences, reunió 225 estudios realizados en educación universitaria STEM. En promedio, los estudiantes bajo metodologías activas mejoraron aproximadamente un 6 % sus resultados en exámenes y evaluaciones conceptuales, mientras las probabilidades de reprobar fueron mayores bajo clases exclusivamente expositivas.

El valor de estas metodologías aparece en la cantidad de operaciones cognitivas que exigen al estudiante. Resolver un problema, explicar una decisión, comparar alternativas, recuperar conocimientos previos, y aplicar conceptos en situaciones nuevas obliga a trabajar con la información de una manera más profunda que limitarse a recibirla. Esa participación puede favorecer una comprensión más sólida y ofrecer más oportunidades para que lo aprendido vuelva a utilizarse posteriormente en contextos diferentes.

En sostenibilidad aparece además otra variable especialmente importante: la autoeficacia, es decir, la percepción de que poseemos alguna capacidad para actuar frente al problema que estamos estudiando. Esta idea también aparece en la guía de UNESCO mencionada anteriormente, que destaca la importancia de fortalecer la autonomía, la capacidad de acción, y la confianza de los estudiantes para utilizar aquello que aprenden.

Esto tiene bastante sentido desde el punto de vista educativo. Resulta difícil construir un compromiso duradero alrededor de un problema que presentamos como gigantesco, inevitable, y completamente fuera del alcance de quien aprende. Un estudiante no necesita creer que puede detener individualmente el cambio climático, pero sí puede descubrir que posee herramientas para investigar un problema local, modificar determinadas prácticas, trabajar con otras personas, y participar de soluciones más amplias. Esa diferencia convierte una amenaza abstracta en un campo donde todavía existe capacidad de acción.

Otro principio muy importante es la transversalidad. Nuestros sistemas educativos dividen el conocimiento en asignaturas porque esa organización permite profundizar en disciplinas diferentes, pero los problemas que encontramos fuera del aula rara vez respetan esas fronteras. Una inundación puede involucrar simultáneamente hidrología, urbanismo, estadística, economía, historia, política pública, comunicación, y comportamiento humano. La sostenibilidad ofrece, por su propia naturaleza, un terreno especialmente fértil para conectar conocimientos que normalmente aparecen separados dentro del currículo.

Una idea relacionada aparece en el libro *“Situated Learning: Legitimate Peripheral Participation”*, publicado en 1991, que ayudó a desarrollar el concepto de aprendizaje situado. Su planteamiento central otorgaba un papel fundamental al contexto social y a la participación en actividades reales dentro del proceso de aprendizaje. Con el tiempo, esta perspectiva influyó sobre distintas pedagogías que intentan acercar el conocimiento escolar a los contextos donde posteriormente será utilizado.

Para la educación sostenible, esta conexión resulta especialmente útil. UNESCO ya proponía en *“Education for Sustainable Development Goals: Learning Objectives”* metodologías participativas, colaborativas, orientadas a problemas, interdisciplinarias, y capaces de vincular el aprendizaje formal con experiencias fuera del aula. La transversalidad permite que una misma problemática pueda estudiarse desde ciencias naturales, matemáticas, historia, tecnología, literatura, o expresiones artísticas, dependiendo de aquello que queramos comprender y del producto que los estudiantes intenten construir.

Esto tampoco implica que todo contenido deba transformarse artificialmente en una experiencia concreta. Existen conceptos que requieren abstracción, lectura, explicación, práctica individual, y estudio disciplinar. La oportunidad aparece cuando alternamos esas herramientas con instancias donde los estudiantes deben movilizar conocimientos diferentes para interpretar un mismo problema. Allí

podemos comprobar si aquello aprendido dentro de una asignatura sigue siendo útil cuando desaparecen las pistas habituales del aula.

En sostenibilidad, además, esta estrategia amplía considerablemente las puertas de entrada. Un estudiante interesado en matemáticas puede trabajar con consumos y emisiones; quien prefiere historia puede estudiar cómo cambiaron nuestros sistemas productivos; las ciencias naturales permiten comprender ecosistemas, y las artes pueden explorar cómo comunicamos esos problemas. Todos observan el mismo desafío desde lugares diferentes, y luego necesitan reunir esas miradas para construir una respuesta común.

Habiendo contemplado los dos principios anteriores, llegamos al tercero: la emocionalidad. Los problemas ambientales difícilmente sean emocionalmente neutros. Pueden generar preocupación, esperanza, indignación, curiosidad, miedo, orgullo por un territorio, o frustración frente a aquello que parece imposible de modificar. Pretender eliminar estas emociones del proceso educativo sería tan artificial como intentar enseñar sobre incendios forestales sin reconocer que la pérdida de un ecosistema puede producir una reacción humana.

El problema aparece cuando una emoción sustituye a la evidencia. Imaginemos una campaña que anunciara: “Si no detenemos las emisiones hoy, dentro de dos años nuestras familias habrán muerto”. Tal mensaje podría captar atención inmediatamente, pero estaría construyendo esa atención alrededor de una predicción falsa. Al llegar el plazo y comprobar que aquello prometido no ocurrió, la campaña habría entregado a cualquier persona escéptica un argumento extraordinariamente poderoso para desconfiar de advertencias posteriores, incluso cuando estas sí estuvieran sustentadas científicamente.

Esto merece una aclaración importante, porque el miedo no es necesariamente inútil. El estudio *“The impact of fear appeals on individuals’ climate change attitudes and behaviors: A meta-analysis”*, publicado en 2026 en el Journal of Environmental Psychology, reunió 37 estudios experimentales y encontró que los mensajes que apelaban al

miedo producían, en promedio, un efecto positivo pequeño sobre la participación climática.

La evidencia actual, por lo tanto, tampoco permite afirmar que cualquier comunicación basada en miedo provoca automáticamente parálisis o rechazo. Nuestra crítica apunta a otra cosa: al alarmismo que inventa certezas, fechas límite, o consecuencias que la evidencia no puede sostener. Una amenaza real puede comunicarse con toda su gravedad sin convertir una probabilidad en una profecía. Y si esperamos que el estudiante actúe frente a aquello que aprende, también debemos mostrarle qué opciones existen, qué resultados pueden conseguirse, y dónde termina razonablemente su responsabilidad. Generar preocupación sin ofrecer comprensión ni capacidad de acción corre el riesgo de dejar únicamente impotencia.

La educación ambiental puede entonces utilizar las emociones de una manera mucho más fértil. Un río de la propia ciudad, la basura acumulada en una playa conocida, un parque que el estudiante visita con su familia, o incluso la transformación de la escuela pueden convertir una cuestión planetaria en algo cercano. El objetivo consiste en que comprender el problema también ayude a construir una relación con aquello que intentamos proteger.

Esa proximidad permite combinar conocimiento, emoción, y capacidad de acción. La preocupación puede coexistir con curiosidad; el vínculo afectivo con un lugar puede impulsar el deseo de conservarlo, y la experiencia de resolver un pequeño problema puede aumentar la confianza para enfrentarse posteriormente a uno mayor. La educación sostenible tiene aquí una ventaja extraordinaria: gran parte de su objeto de estudio se encuentra literalmente fuera de la puerta del aula.

Cuando reunimos participación activa, transversalidad, y vínculo emocional, aparece una metodología especialmente compatible con estos principios: el aprendizaje basado en proyectos. No necesitamos considerarlo la única metodología válida para reconocer su utilidad. Permite comenzar con un problema relativamente abierto, reunir conocimientos de distintas áreas, distribuir responsabilidades,

investigar alternativas, construir una propuesta, equivocarse durante el proceso, y producir finalmente algo que pueda observarse, explicarse, o presentarse ante otras personas.

Existe además evidencia general favorable a este enfoque. El estudio *“A study of the impact of project-based learning on student learning effects: a meta-analysis study”*, publicado en 2023 en *Frontiers in Psychology*, analizó 66 investigaciones experimentales o cuasiexperimentales desarrolladas durante veinte años. En conjunto, el aprendizaje basado en proyectos mostró un efecto positivo sobre los resultados educativos, incluyendo rendimiento académico, habilidades de pensamiento, y dimensiones afectivas, aunque los resultados variaron según la asignatura, el contexto, y las características de implementación.

En educación ambiental podemos aprovechar esa estructura para trabajar con problemas cercanos y suficientemente complejos. Los estudiantes podrían investigar la cantidad de residuos generados por su institución, estudiar el consumo de agua, recuperar un espacio verde, analizar la temperatura de distintas zonas del patio, diseñar una campaña informativa, o proponer mejoras para reducir determinados consumos. El proyecto puede surgir del docente o, cuando sea viable, de los propios estudiantes. Darles parte de esa decisión también transforma el objetivo en algo que sienten como propio.

En CERLI, vemos en este tipo de experiencias una de las herramientas más prometedoras para la educación ambiental. Permiten que la sostenibilidad deje de aparecer únicamente como una colección de problemas gigantescos y se convierta en algo que puede observarse, investigarse, discutirse, y ponerse a prueba. También ofrecen espacio para que cada institución adapte sus actividades a la edad de los estudiantes, sus recursos disponibles, y los desafíos ambientales de la comunidad que la rodea.

Y, afortunadamente, tampoco estamos proponiendo construir todo este modelo desde cero. Durante las últimas décadas se han desarrollado marcos internacionales que intentan llevar estos mismos

principios a sistemas educativos completos. El más importante para nuestro análisis es la llamada Educación para el Desarrollo Sostenible, impulsada por UNESCO, y vinculada directamente con la Agenda 2030.

Ya tenemos entonces los ingredientes. Veamos ahora qué ocurre cuando intentamos convertirlos en política educativa.



Educación para el desarrollo sostenible

¿Quién decide qué se enseña, y cómo se traduce todo esto en currículos reales, dentro de sistemas educativos que ya están sobrecargados de contenidos? La historia institucional de esta propuesta comenzó bastante antes de la Agenda 2030. En 2002, la Asamblea General de las Naciones Unidas proclamó el periodo 2005-2014 como la Década de las Naciones Unidas de la Educación para el Desarrollo Sostenible, y designó a la UNESCO como organismo encargado de liderarla. Durante aquellos diez años se buscó incorporar los principios de la sostenibilidad en diferentes niveles y modalidades educativas alrededor del mundo.

Al finalizar esa etapa comenzó el Programa de Acción Mundial sobre Educación para el Desarrollo Sostenible, desarrollado entre 2015 y 2019. Ese mismo periodo coincidió con la aprobación de la Agenda 2030 y su meta 4.7, que incorporó explícitamente la educación para el desarrollo sostenible dentro de los objetivos educativos internacionales. La EDS dejaba así de aparecer como una iniciativa paralela para quedar vinculada directamente con los compromisos educativos establecidos para 2030.

En 2019, UNESCO adoptó el marco *“Education for Sustainable Development: Towards achieving the SDGs”*, conocido como EDS para 2030. Su hoja de ruta organiza el trabajo en cinco áreas prioritarias: políticas públicas, transformación de los entornos de aprendizaje, desarrollo de capacidades de los educadores, empoderamiento y movilización de los jóvenes, y aceleración de las acciones locales. El marco fue posteriormente presentado a escala mundial en la

Conferencia de la UNESCO sobre Educación para el Desarrollo Sostenible celebrada en 2021. Cada una de estas áreas responde, en esencia, a la misma pregunta que nos hicimos en el capítulo anterior: ¿cómo logramos que el cambio de hábitos sea genuino, y no impuesto?

Lo interesante de este marco es que establece objetivos y áreas de acción comunes sin convertirlos en una única receta pedagógica para todos los países. Su implementación depende de cada contexto educativo, social, económico, y ambiental. UNESCO propone incluso un enfoque institucional completo, donde currículo, pedagogía, gestión del centro educativo, formación docente, infraestructura, y relación con la comunidad puedan avanzar en una misma dirección. La institución educativa se convierte así en parte de aquello que enseña.

Esta flexibilidad resulta especialmente importante en sostenibilidad. Una comunidad costera puede necesitar trabajar sobre erosión, contaminación marina, o gestión pesquera, mientras otra podría concentrarse en disponibilidad de agua, deforestación, residuos, o adaptación frente al calor. Los principios generales permanecen, pero el problema que permite volverlos tangibles cambia según aquello que los estudiantes pueden observar alrededor suyo.

En América Latina y el Caribe existe además una tradición regional propia. La Red de Formación Ambiental para América Latina y el Caribe fue establecida en 1982 y actualmente funciona como una plataforma intergubernamental que reúne a responsables de educación ambiental de los ministerios de la región. Coordinada por el PNUMA, busca facilitar el intercambio de conocimientos, experiencias, prácticas, y cooperación entre países que comparten desafíos ambientales, pero poseen realidades educativas muy diferentes.

Más recientemente, la Organización de Estados Iberoamericanos publicó en 2025 el estudio *“Alianzas para la esperanza activa. Educación ante el cambio climático con impacto en Iberoamérica”*, desarrollado con la colaboración del Ministerio de Educación, Formación Profesional y Deportes de España. El trabajo reunió alrededor de cuarenta experiencias implementadas en dieciséis países, además de iniciativas

supraestatales, y seleccionó ocho casos para estudiarlos con mayor profundidad e identificar elementos que pudieran explicar su funcionamiento y posibilidades de adaptación en otros contextos.

Una de esas ocho experiencias nos llamó particularmente la atención, entre otras cosas, porque nació en Uruguay. En 2016, TAGMA construyó en Jaureguiberry, Canelones, la primera escuela pública sustentable de Latinoamérica. El proyecto había comenzado a gestarse varios años antes y finalmente se materializó mediante la colaboración entre la organización, ANEP, la comunidad local, empresas, técnicos, voluntarios, y participantes procedentes de distintos países. El edificio fue diseñado siguiendo principios de arquitectura bioclimática y autosuficiencia en el uso de recursos.

Su propia infraestructura funciona como material educativo. TAGMA informa que durante la construcción se reutilizaron alrededor de 30 toneladas de residuos, incluyendo unos 2.200 neumáticos, 14.000 latas de aluminio, 4.000 botellas de vidrio, y 2.000 botellas de plástico. La escuela cuenta además con 18 paneles fotovoltaicos y posee capacidad para almacenar 30.000 litros de agua de lluvia, que posteriormente atraviesa distintas etapas de utilización y tratamiento dentro del edificio.

El valor educativo del proyecto aparece justamente en esa combinación. Energía, agua, residuos, producción de alimentos, biodiversidad, y acondicionamiento térmico dejan de ser conceptos exclusivamente explicados dentro de un libro y pasan a formar parte del lugar donde los estudiantes aprenden todos los días. La escuela se convierte, literalmente, en uno de los recursos pedagógicos utilizados para enseñar sostenibilidad.

Desde aquella primera experiencia, TAGMA extendió el modelo a otros territorios. Su red presenta actualmente diez comunidades educativas distribuidas entre Uruguay, Argentina, Chile, Colombia, Brasil, Ecuador, y Perú. Pero no son todas iguales, ya que cada proyecto se adapta a sus condiciones ambientales, materiales disponibles,

necesidades educativas, y características de la comunidad donde se instala.

Hay otro detalle que conviene recordar. La escuela de Jaureguiberry comenzó como una idea alrededor de 2012 y necesitó casi cinco años para reunir permisos, recursos, alianzas, y capacidad técnica antes de poder construirse. Su historia demuestra el potencial de las iniciativas comunitarias, pero también evidencia que estos proyectos requieren planificación, financiación, coordinación institucional, y una enorme cantidad de trabajo antes de que aquello que imaginamos pueda convertirse en una experiencia educativa real.

Destacamos particularmente este caso porque reúne varios de los elementos que hemos desarrollado hasta ahora: aprendizaje conectado con el entorno, participación comunitaria, problemas ambientales visibles, infraestructura coherente con aquello que se enseña, y oportunidades para trabajar contenidos desde distintas disciplinas. Además, permite observar cómo una iniciativa nacida fuera del aparato estatal puede terminar integrada dentro de la educación pública cuando consigue construir las alianzas necesarias.

En CERLI creemos que experiencias como esta merecen ser estudiadas, documentadas, y adaptadas allí donde sus principios resulten útiles. Pero el edificio, la huerta, los paneles solares, o cualquier otra infraestructura sostenible constituyen apenas una parte del proceso. Para que la experiencia produzca aprendizaje necesitamos decidir qué harán los estudiantes con esos recursos, qué conocimientos movilizarán, y cómo conectaremos aquello que ocurre alrededor de ellos con el currículo que deben aprender.

La integración curricular abre entonces una segunda decisión: ¿dónde enseñamos sostenibilidad? UNESCO lleva años defendiendo un enfoque transversal, donde sus contenidos y competencias puedan aparecer en distintas asignaturas y niveles educativos. La lógica es sencilla: cambio climático, biodiversidad, producción, energía, consumo, desigualdad, tecnología, y comportamiento humano pertenecen simultáneamente a varios campos del conocimiento. Encerrarlos por completo dentro de

una única asignatura puede limitar conexiones que resultan fundamentales para comprenderlos.

Esto tampoco obliga a descartar asignaturas, módulos, o espacios específicos dedicados a la sostenibilidad. Pueden resultar perfectamente útiles cuando permiten profundizar en contenidos que de otro modo quedarían dispersos. Lo importante es evitar que ese espacio se convierta en el único lugar donde aparecen estas cuestiones. Una verdadera transversalidad permite que lo aprendido allí vuelva a utilizarse en ciencias, matemáticas, historia, tecnología, economía, artes, y proyectos comunitarios.

La diferencia entre una transversalidad profunda y una meramente cosmética aparece en el papel que cumple el problema ambiental dentro del aprendizaje. Podemos pedir a los estudiantes que calculen porcentajes utilizando como ejemplo una tabla de emisiones, del mismo modo que podríamos haber utilizado frutas o automóviles. Allí la sostenibilidad funciona simplemente como contexto. Pero también podemos pedirles que comparen emisiones, detecten tendencias, analicen incertidumbre, seleccionen una representación matemática adecuada, y utilicen esos resultados para responder una pregunta ambiental concreta.

En el segundo caso, las matemáticas continúan siendo parte fundamental del aprendizaje, pero el problema también exige comprender aquello que representan los números. Ninguna de las dos dimensiones está allí únicamente como decoración. Esa es la transversalidad que nos interesa: distintas disciplinas aportando herramientas reales para comprender un problema que no puede resolverse correctamente desde una sola de ellas.

Por este motivo, desde CERLI vemos en el aprendizaje basado en proyectos una herramienta especialmente compatible con una educación ambiental transversal. La evidencia específica todavía es considerablemente menor que la disponible para el ABP en términos generales, aunque existen resultados prometedores. En 2015, Murat Genc publicó el estudio *"The project-based learning approach in*

environmental education”, realizado con 39 estudiantes, donde encontró mejoras en las actitudes ambientales después de trabajar mediante proyectos sobre problemas ecológicos. El tamaño y el contexto de la muestra aconsejan interpretar el resultado con cautela, pero ofrece un antecedente directamente relacionado con nuestra propuesta.

Una evidencia más amplia aparece en la revisión sistemática *“Investigating effective teaching and learning for sustainable development and global citizenship”*, publicada en 2021. El trabajo analizó 14 estudios con resultados estadísticamente significativos e identificó elementos recurrentes como la combinación entre teoría y práctica, la participación del estudiante, y la conexión de los contenidos con sus intereses. Sus autores también advierten que todavía necesitamos más evidencia sobre las condiciones institucionales que determinan cuándo estos programas funcionan mejor.

A partir de estos antecedentes y de los principios desarrollados en las páginas anteriores, proponemos a continuación cuatro etapas diseñadas por CERLI para organizar este tipo de proyectos. No buscamos presentarlas como una fórmula experimentalmente validada en su conjunto, sino como un modelo de trabajo que combina elementos respaldados por la literatura con decisiones pedagógicas que consideramos útiles para llevarlos al aula.

Comenzaremos por la identificación y apropiación del problema, que consiste en que cada proyecto debe comenzar con un problema concreto. Elegirlo no puede depender únicamente del docente, ni tampoco puede ser presentado como algo distante de la realidad de los estudiantes. Tiene que ser un desafío ambiental cercano a la comunidad, donde los alumnos puedan observarlo, comprenderlo, y modificarlo de algún modo.

Ejemplos tenemos muchos, desde analizar los residuos producidos por la institución, el desperdicio de agua y energía de las aulas, la ausencia de espacios verdes, o la contaminación de algún entorno cercano. Así se crea una conexión directa entre aquello que se estudia y la vida cotidiana de quien lo está estudiando. Siempre que las

condiciones lo permitan, recomendamos que los estudiantes participen en la selección del problema que resolverán. El docente puede delimitar o filtrar entre opciones viables y educativamente ricas, pero brindando, al mismo tiempo, cierto grado de autonomía desde el comienzo.

La siguiente etapa es la investigación y comprensión multidimensional. Con el problema ya definido, los estudiantes comenzarán a investigar las características de este. Aunque parezca que esta es la etapa de mayor autonomía del estudiante, el docente deberá evitar que el problema se fragmente en pequeñas parcelas de conocimiento, que nunca vuelven a conectarse entre sí.

Dado que los problemas ambientales rara vez pertenecen exclusivamente a una única asignatura, y que los estudiantes aprenden al mismo tiempo que realizan el proyecto, los docentes deben ayudarlos a identificar las áreas donde distintos ámbitos del conocimiento aportan valor. Pensemos en el desperdicio energético de una institución; para comprenderlo, vamos a tener que calcular consumos, comparar tablas de datos, estudiar las fuentes de energía y sus transformaciones, analizar los hábitos de consumo y las razones que lo generan, comprender su evolución con los años, y desarrollar estrategias que permitan cambiar esto, y transmitírselo a los demás.

Los estudiantes, mediante la transversalidad, deberán ser capaces de responder a las principales preguntas de una investigación. ¿Qué está ocurriendo?, ¿por qué está ocurriendo?, y ¿qué aspectos de esta situación podemos modificar realmente? Cada asignatura aporta las herramientas que los estudiantes necesitan para avanzar, mientras que estos deberán recopilar información, realizar observaciones, comparar alternativas, interpretar datos y construir gradualmente una explicación del problema que escogieron.

Luego, tenemos la tercera etapa: diseño e intervención. Para este punto ya comprendemos el problema, por lo que toca intentar solucionarlo. Esta etapa es la más rica del proyecto, ya que convierte el conocimiento adquirido en una intervención tangible. Los estudiantes deberán diseñar una propuesta que responda al diagnóstico realizado

anteriormente. Si el problema era el desperdicio de agua, quizá puedan estudiar el consumo de la institución y diseñar mecanismos para reducirlo. Si era la producción de residuos, podrían modificar los sistemas de clasificación, estudiar qué materiales predominan, o experimentar con alternativas reutilizables.

Lo importante es que la solución no llegue prefabricada. Un proyecto donde el docente conoce desde el comienzo qué deberán hacer los estudiantes, qué resultados obtendrán, y qué conclusión deberán presentar al final, termina siendo una simple actividad práctica más. Sumado a esto, si el docente ya tiene una idea preconcebida sobre lo que espera que sus alumnos presenten, acabará inevitablemente creando un modelo mental con el que comparará el resultado.

Y es este punto exacto el que nos lleva a la última etapa: la evaluación. El docente necesita medir, de forma cuantitativa y cualitativa, si el proyecto cumplió con el objetivo de educar al estudiante. Necesitaremos observar su capacidad para conectar distintas áreas del conocimiento, justificar decisiones, analizar evidencias, proponer soluciones y reconocer las limitaciones de sus propias ideas. En algunos casos también podremos estudiar cambios en su percepción de autoeficacia, con énfasis en cuánto creen que sus acciones pueden influir realmente sobre los problemas que están intentando resolver.

La evaluación debe acompañar la variedad de aprendizajes que esperamos producir. Un examen puede ser perfectamente útil para comprobar conocimientos conceptuales, interpretar datos, o verificar si el estudiante comprende determinados mecanismos ambientales. Sin embargo, un proyecto también intenta desarrollar capacidades difíciles de observar mediante una única prueba escrita: formular preguntas, conectar disciplinas, justificar decisiones, trabajar con evidencia, revisar errores, colaborar, diseñar soluciones, y explicar por qué una intervención funcionó o fracasó.

Por ese motivo, desde CERLI proponemos combinar distintas fuentes de evidencia. Un informe o portafolio puede documentar cómo evolucionó el proyecto, qué decisiones tomó el grupo, qué información

utilizó, qué hipótesis descartó, y qué modificaciones realizó durante el proceso. También permite conservar fotografías, mediciones, gráficos, borradores, resultados, y reflexiones que serían imposibles de reconstruir únicamente a partir del producto final.

A esto puede sumarse una presentación oral, donde los estudiantes expliquen y defiendan su trabajo ante docentes, compañeros, o integrantes de la comunidad. Las preguntas permiten comprobar hasta qué punto comprenden las decisiones tomadas y diferenciar un proyecto genuinamente entendido de otro donde las tareas simplemente fueron repartidas entre integrantes. Cuando sea posible, también podremos incorporar indicadores del propio problema intervenido, comparando por ejemplo el consumo de agua, la cantidad de residuos separados, o cualquier otra variable observada antes y después del proyecto.

Este modelo presenta, sin embargo, un problema muy concreto: evaluar procesos complejos exige tiempo. Cuantos más estudiantes y proyectos existan simultáneamente, más difícil resulta leer evidencias, ofrecer devoluciones útiles, observar presentaciones, y seguir la evolución de cada equipo. La transversalidad puede repartir parte de esa carga entre distintos docentes, especialmente cuando cada área evalúa criterios relacionados con sus propios objetivos curriculares, pero la coordinación también necesita tiempo y organización.

Las herramientas digitales pueden reducir parte del trabajo administrativo. Un LMS (Learning Management System) permite centralizar entregas, versiones, rúbricas, evidencias, y devoluciones, mientras determinadas herramientas de inteligencia artificial pueden ayudar a organizar información, detectar documentos incompletos, generar primeros borradores de retroalimentación, o comparar una entrega con criterios previamente definidos. Su utilización debería funcionar como apoyo al docente, especialmente cuando la evaluación involucra razonamiento, originalidad, colaboración, o decisiones que requieren conocer el contexto real del proyecto.

Por eso evitaríamos fijar de antemano un número universal de estudiantes o aulas a partir del cual el modelo deja de funcionar. La capacidad dependerá de la cantidad de docentes involucrados, duración de los proyectos, herramientas disponibles, tiempo institucional reservado para coordinación, complejidad de las evidencias, y frecuencia de las instancias de evaluación. El problema de escala es real, pero su límite será diferente para cada institución.

Algo muy importante a tener en cuenta es que, a lo largo de todo el proceso, debe existir espacio para equivocarse, y descubrir que algunas de las hipótesis formuladas originalmente no fueron correctas. Resolver un problema real implica enfrentarse a restricciones igualmente reales, y aprender a adaptarse cuando nuestras primeras hipótesis no sobreviven al contacto con la realidad. Todo este aprendizaje es tan valioso como el resultado final, por lo que sugerimos que acabe siendo parte del documento adjunto para evaluarse.

Para que este espacio para equivocarse no quede reducido únicamente a una declaración de principios, creemos que la evaluación debe distribuirse a lo largo de las diferentes etapas del proyecto. Cada etapa puede contar con un conjunto reducido de criterios de avance, definidos de antemano y conocidos por los estudiantes, que permitan verificar si existe una base suficiente antes de continuar. Estos criterios funcionan como puntos de anclaje pedagógico, que permiten al docente manejar los tiempos y conocimientos necesarios para el avance en el proyecto.

Por ejemplo, antes de iniciar una investigación extensa, debería estar claro y acotado el problema. Antes de pasar al diseño de una intervención, debería haber evidencia suficiente sobre causas y posibilidades de acción. Si alguno de estos aspectos aún no alcanza el nivel mínimo esperado, el docente puede ofrecer una devolución específica que permita revisar, ajustar y volver a presentar. Una vez que estos criterios se cumplen satisfactoriamente, el grupo puede concentrarse en los aspectos que aún requieren desarrollo.

Esto implica asumir que los grupos no necesariamente avanzarán al mismo ritmo, pero que eso no es un problema en sí mismo. Siempre que haya progreso identificable y decisiones bien documentadas, el objetivo no es que todos lleguen al mismo tiempo, sino que lleguen con aprendizajes realmente consolidados.

Cuando llegue la instancia formal y final de evaluación, el docente deberá ir más allá de simplemente determinar si la solución propuesta funcionó o no funcionó. Incluso una intervención que no alcance su objetivo inicial puede constituir una excelente experiencia educativa, siempre que los estudiantes sean capaces de comprender por qué ocurrió, así como también de establecer qué harían diferente en un segundo intento.

El grupo deberá comparar la situación inicial con los resultados obtenidos, y así poder reflexionar sobre las decisiones tomadas. Independientemente de si esta reflexión se hace desde el éxito o no, la conexión con la investigación y el proceso de aprendizaje no se ha perdido, y deja una enseñanza muy valiosa sobre cómo algunas ideas, por muy buenas y beneficiosas que parezcan originalmente, pueden fallar en determinados contextos.

Desde CERLI también recomendamos una instancia de comunicación, donde se puedan presentar y defender los resultados ante compañeros, familias u otros integrantes de la comunidad. Es una forma efectiva de transformar la experiencia en conocimiento comunicable, porque el estudiante deberá explicar qué problema encontró, cómo lo investigó, qué hizo para resolverlo, y qué aprendió durante el proceso.

Incluso algunos proyectos pueden ser la continuación o el seguimiento de otros, y permitir analizar si las estrategias de comunicación de equipos anteriores han resultado efectivas para mantener niveles de mejoría sostenidos, o si se perdieron al finalizar el proyecto. Así, el propio monitoreo se convierte en una nueva instancia educativa en la que los estudiantes reciben un problema, junto con una solución antigua, y datos que podrán analizar críticamente.

Por ejemplo, un grupo podría diseñar, durante un año, un sistema para mejorar la clasificación de residuos dentro de su institución. Más adelante, otro grupo podría analizar cuánto de aquella intervención permanece, qué medidas fueron abandonadas, cuáles se incorporaron naturalmente al funcionamiento cotidiano, y por qué. A partir de estos resultados, podrá conservar aquello que funcionó, modificar aquello que no, y diseñar una segunda intervención.

Esto tiene una consecuencia sumamente interesante para el desarrollo educativo, y es que los proyectos dejan de tener un principio y un final definidos. Cada generación de estudiantes hereda información de quienes participaron anteriormente, y deja nuevos datos e ideas para quienes continúen después.

Pero, para que esto sea posible, necesitamos decidir qué es lo que queremos observar. No todos los cambios pueden medirse de la misma forma, ya que no todos los indicadores nos cuentan una única historia. Esto abre una última pregunta para este informe. Una vez que estas iniciativas están en marcha, ¿cómo sabemos si realmente están funcionando? O, planteado de otra manera, ¿cómo sabemos si algo de lo aprendido sobrevivirá cuando termine el proyecto?

Monitoreo educativo ambiental

Una iniciativa de educación ambiental puede producir resultados en varios niveles al mismo tiempo. Podemos observar cuánto aprendieron los estudiantes, si lograron conectar conocimientos provenientes de distintas disciplinas, cómo cambió su percepción de autoeficacia, qué decisiones tomaron durante el proyecto, y si determinadas prácticas comenzaron a trasladarse fuera de la actividad curricular.

A esto podemos sumar transformaciones observables dentro de la propia institución: modificaciones en el consumo de recursos, nuevas formas de gestionar los residuos, cambios en determinados procedimientos, recuperación de espacios, o cualquier otro resultado directamente relacionado con la intervención. El desafío consiste en que ninguna de estas dimensiones cuenta por sí sola toda la historia. Un proyecto puede mejorar mucho el conocimiento sin modificar conductas, o transformar una práctica institucional sin que todos los estudiantes comprendan con la misma profundidad por qué funcionó. Por eso, el monitoreo deberá reunir distintas fuentes de evidencia y analizarlas en conjunto.

Antes de interpretar cualquier resultado necesitamos saber qué ocurrió realmente durante la implementación. ¿Participaron las asignaturas previstas? ¿Los estudiantes tuvieron capacidad real para tomar decisiones? ¿Existió un problema ambiental concreto alrededor del cual organizar el proyecto? ¿Cuánto tiempo duró la experiencia, qué actividades llegaron a realizarse, y qué recursos estuvieron disponibles?

Esta dimensión suele relacionarse con la llamada fidelidad de implementación, que permite analizar cuánto se parece aquello que ocurrió en la práctica a aquello que originalmente había sido diseñado. Esto no significa que cualquier adaptación represente un problema. Un proyecto situado necesita suficiente flexibilidad para responder a estudiantes, instituciones, y comunidades diferentes. Lo importante es registrar esas modificaciones para interpretar después qué componentes estuvieron realmente presentes cuando aparecieron los resultados.

La propia UNESCO utiliza una lógica multidimensional para seguir la implementación de la EDS, observando políticas, entornos educativos, capacidades docentes, participación juvenil, acciones locales, y otros indicadores. La evaluación intermedia *“Mid-term evaluation of the ESD for 2030 framework, 2021-2024”*, publicada por UNESCO en 2026, volvió a señalar la necesidad de simplificar y fortalecer estos mecanismos de seguimiento para comprender mejor los avances y sus limitaciones.

Después podemos observar qué cambió en el entorno donde se realizó la intervención. Dependiendo del proyecto, podrían aparecer nuevos mecanismos de clasificación de residuos, reducciones en determinados consumos, modificaciones en las compras institucionales, recuperación de espacios verdes, o cambios en procedimientos cotidianos. Son resultados muy diferentes entre sí, pero todos permiten comprobar si aquello que fue diseñado llegó a producir alguna transformación fuera del ejercicio puramente académico.

La duración de esos cambios nos aporta otra información. Una práctica puede mantenerse mientras docentes y estudiantes concentran toda su atención sobre ella y desaparecer pocas semanas después. Otra puede incorporarse al funcionamiento habitual de la institución, sobrevivir durante el siguiente año lectivo, o incluso ser adoptada por grupos que nunca participaron del proyecto original. A esta dimensión la denominaremos persistencia: cuánto de la transformación permanece después de que desaparecen los estímulos iniciales.

También podemos observar si aquello aprendido consigue trasladarse hacia otros espacios. Un estudiante puede comenzar aplicando una práctica dentro de la escuela y posteriormente incorporarla en su hogar, compartirla con su familia, o utilizar los mismos principios para interpretar un problema diferente. Esta transferencia resulta especialmente interesante porque muestra que el aprendizaje comenzó a desprenderse de la situación concreta que le dio origen. Una conducta repetida únicamente dentro del proyecto y otra capaz de reaparecer espontáneamente en contextos distintos nos dicen cosas bastante diferentes sobre lo que ocurrió durante el proceso educativo.

A partir de estas consideraciones, desde CERLI proponemos organizar el monitoreo alrededor de varias dimensiones complementarias. La primera corresponde a la implementación, donde registramos qué se hizo, durante cuánto tiempo, con qué recursos, y bajo qué condiciones. La segunda observa el aprendizaje, incluyendo conocimientos, comprensión del problema, interpretación de evidencias, y capacidad para conectar distintas disciplinas. Una tercera dimensión se concentra en posibles cambios en la autoeficacia, las decisiones, y las conductas de los estudiantes.

Cuando la naturaleza del proyecto lo permita, incorporaremos además una dimensión de resultado ambiental o institucional. Allí analizaremos qué ocurrió con el problema que motivó la intervención: cuánto residuo se recuperó, qué consumo cambió, qué procedimiento mejoró, o qué espacio fue transformado. Finalmente aparecen las dimensiones que requieren distancia temporal, como la persistencia que acabamos de definir, y la posibilidad de trasladar parte de esos aprendizajes a contextos diferentes.

Ningún indicador individual podrá responder todas estas preguntas. La utilidad del sistema estará precisamente en reunir evidencias que describen partes distintas de una misma experiencia y utilizarlas para reconstruir qué ocurrió durante el proyecto, qué dejó detrás, y cuáles de sus efectos parecen mantenerse después.

Para que esa reconstrucción sea posible, necesitamos documentar el proyecto desde el comienzo. Qué asignaturas participaron, cuánto duró cada etapa, qué nivel de autonomía tuvieron los estudiantes, qué actividades se realizaron, qué recursos fueron necesarios, qué dificultades aparecieron, y qué modificaciones se hicieron sobre el diseño original son datos que después nos ayudarán a interpretar los resultados. Una experiencia educativa rara vez se desarrolla exactamente como fue imaginada sobre el papel, y esas variaciones también forman parte de aquello que debemos comprender.

Siempre que sea posible, también conviene decidir antes de intervenir qué variables vamos a observar. La medición inicial funciona como una línea de base que nos permite conocer el punto desde el cual partimos. Si queremos reducir el consumo de agua, necesitamos saber cuánto se utilizaba previamente; si buscamos mejorar la clasificación de residuos, primero debemos conocer qué porcentaje se separaba correctamente, qué materiales generaban más dificultades, y dónde se producían los principales errores.

Los seguimientos posteriores podrán realizarse semanas, meses, o incluso años después, dependiendo del tipo de cambio estudiado. No existe un plazo universal que pueda aplicarse a cualquier iniciativa: algunas prácticas pueden desaparecer rápidamente, mientras otras necesitan tiempo antes de integrarse plenamente al funcionamiento cotidiano de una institución. Siempre que sea posible, debemos decidir qué vamos a medir antes de realizar la intervención, porque aunque una situación parezca haber mejorado al finalizar un proyecto, esto aporta muy poca información si desconocemos cómo se encontraba originalmente. La medición inicial funciona como nuestro punto de comparación, permitiéndonos separar una transformación real de una simple impresión.

Algunos proyectos nos permitirán trabajar con variables relativamente fáciles de medir. El consumo de agua y electricidad, la cantidad de residuos generados, el porcentaje de materiales correctamente clasificados, el uso de determinados productos, o incluso la superficie destinada a ciertos espacios pueden compararse antes,

durante, y después de la intervención. Estos indicadores ofrecen una ventaja importante: permiten observar cambios concretos sin depender únicamente de la percepción de quienes participaron.

Pero incluso una cifra aparentemente objetiva necesita contexto. Supongamos que el consumo eléctrico disminuye un 15 % después de nuestro proyecto. El dato es real, aunque durante ese mismo periodo también pudo cambiar la cantidad de estudiantes, reducirse el horario de funcionamiento, sustituirse equipamiento, mejorar el aislamiento del edificio, o registrarse temperaturas distintas. Por eso intentaremos comparar periodos equivalentes y registrar aquellas variables externas capaces de modificar los resultados. Una medición puede mostrarnos que algo cambió; demostrar por qué cambió requiere relacionarla con el resto de la evidencia. Cuantas más piezas coincidan, mayor será nuestra capacidad para sostener que la intervención contribuyó al resultado observado.

Otras dimensiones necesitan herramientas diferentes. La percepción de autoeficacia, determinadas actitudes ambientales, la capacidad para relacionar un problema con decisiones cotidianas, o la valoración que los estudiantes hacen de su propia participación pueden explorarse mediante cuestionarios, entrevistas, observaciones, diarios de aprendizaje, rúbricas, grupos de discusión, y otros instrumentos. La elección dependerá de aquello que intentemos conocer y de la edad, características, y tamaño de la población participante.

Siempre que exista un instrumento previamente validado para estudiar la variable que nos interesa, será conveniente utilizarlo. Cuando debamos construir indicadores propios, necesitaremos definir de antemano qué queremos observar, cómo vamos a registrarlo, cuándo realizaremos las mediciones, y qué tipo de cambio consideraríamos relevante. Establecer estos criterios únicamente después de conocer los resultados facilita que terminemos interpretando como éxito aquello que coincide con nuestras expectativas originales.

Tampoco todos los objetivos necesitan convertirse en una frontera rígida entre éxito y fracaso. Puede resultar mucho más informativo

conocer cuánto cambió una variable, en qué dirección, durante cuánto tiempo, y si diferentes fuentes de evidencia cuentan una historia compatible entre sí.

Antes de construir la matriz final necesitamos incorporar otra pregunta importante: ¿cuánto de aquello que funcionó depende del contexto particular donde fue probado? A esta dimensión la denominaremos transferibilidad. Un proyecto puede obtener resultados excelentes dentro de una institución y depender, al mismo tiempo, de condiciones difíciles de encontrar en otro lugar: docentes con formación especializada, instalaciones particulares, recursos económicos excepcionales, una comunidad especialmente comprometida, o características ambientales muy específicas.

Relacionada con ella aparece la escalabilidad. Una iniciativa puede funcionar muy bien con un grupo reducido y encontrar dificultades completamente nuevas cuando intenta extenderse a varias aulas, escuelas, o regiones. Coordinar más docentes, mantener la calidad del acompañamiento, financiar materiales, y conservar suficiente autonomía para los estudiantes puede volverse progresivamente más complejo a medida que aumenta el tamaño de la intervención.

Esto tampoco reduce el valor de un proyecto que solo funciona en un contexto concreto. Una experiencia puede resultar extraordinariamente útil para una comunidad aunque jamás llegue a convertirse en un modelo nacional. La transferibilidad y la escalabilidad adquieren importancia cuando intentamos aprender de ella y decidir qué componentes podrían reproducirse, cuáles necesitarían adaptaciones, y cuáles dependen demasiado de las condiciones que hicieron posible la experiencia original.

Esta distinción también nos obliga a elegir indicadores cuya escala sea coherente con la intervención. Si un grupo de estudiantes desarrolla un proyecto para reducir el consumo de agua dentro de su escuela, evaluar posteriormente su éxito utilizando el consumo total de una ciudad mayormente industrial tendría poco sentido. El posible efecto de la

iniciativa quedaría enterrado debajo de miles de variables sobre las que los estudiantes nunca tuvieron capacidad real de intervención.

Lo razonable será comenzar observando aquellos espacios donde el proyecto podía producir una diferencia: la institución, las personas participantes, sus hogares cuando exista evidencia de transferencia, o cualquier otro entorno directamente relacionado con las acciones realizadas. Si posteriormente la experiencia crece y alcanza nuevas poblaciones, también podremos ampliar progresivamente nuestra escala de medición.

Este principio evita dos errores opuestos. Por un lado, impide exigirle a una experiencia educativa resultados que nunca estuvo diseñada para producir. Por otro, evita adjudicarle transformaciones sociales enormes cuando únicamente hemos demostrado un cambio localizado. En ambos casos, la precisión con la que definimos el alcance de nuestras conclusiones es tan importante como los propios resultados.

Con todas estas dimensiones podemos construir una matriz de monitoreo que acompañe al proyecto desde su diseño hasta los seguimientos posteriores. Como ejercicio metodológico, compartimos a continuación una estructura desarrollada por CERLI para organizar las relaciones entre implementación, aprendizaje, conducta, resultados observables, persistencia, transferibilidad, y escalabilidad. Su finalidad es ayudarnos a formular preguntas y ordenar evidencia; no establecer indicadores universales que deban aplicarse de la misma manera en cualquier institución.

Cada iniciativa deberá seleccionar sus propias variables, instrumentos, líneas de base, momentos de medición, y criterios de interpretación. Un proyecto sobre residuos necesitará información diferente a otro centrado en biodiversidad, consumo energético, o disponibilidad de espacios verdes. Incluso dos instituciones trabajando sobre el mismo problema pueden requerir mecanismos distintos cuando cambian sus estudiantes, infraestructura, recursos, prioridades, o condiciones ambientales.

MATRIZ DE MONITOREO EDUCATIVO AMBIENTAL

PROYECTO: _____	PROBLEMA ABORDADO: _____	POBLACION PARTICIPANTE: _____
DURACION: _____	LINEA DE BASE: _____	SEGUIMIENTO PREVISTO: _____

DIMENSION	PREGUNTA CENTRAL	INDICADORES O EVIDENCIAS POSIBLES	MOMENTO DE OBSERVACION
IMPLEMENTACIÓN	¿El proyecto se desarrolló de acuerdo con sus fundamentos?	Asignaturas participantes, duración, actividades realizadas, autonomía estudiantil, recursos utilizados, dificultades, modificaciones respecto al diseño original, vinculación con un problema real.	Durante todo el proyecto.
APRENDIZAJE	¿Qué comprendieron y qué son capaces de hacer los estudiantes con lo aprendido?	Conocimientos adquiridos, interpretación de datos, conexión entre disciplinas, calidad de las explicaciones, justificación de decisiones, identificación de causas y posibles soluciones.	Línea de base cuando corresponda, durante el proceso, y al finalizar.
AUTOEFICACIA, DECISIONES, Y CONDUCTA	¿Cambió la manera en que los estudiantes perciben su capacidad de actuar y toman decisiones frente al problema?	Percepción de autoeficacia, autonomía, intención de actuar, adopción de determinadas prácticas, participación voluntaria, transferencia de comportamientos al hogar u otros espacios.	Antes, al finalizar, y durante seguimientos posteriores.
RESULTADO AMBIENTAL O INSTITUCIONAL	¿La intervención produjo un cambio observable sobre el problema trabajado?	Consumo de agua o energía, generación y clasificación de residuos, modificación de compras, recuperación de espacios, cambios en procedimientos, u otros indicadores vinculados directamente con el proyecto.	Línea de base, durante la intervención, al finalizar, y cuando sea posible en el seguimiento.
PERSISTENCIA	¿Cuánto del cambio permanece cuando desaparecen los estímulos iniciales?	Continuidad de prácticas, mantenimiento de procedimientos, permanencia de resultados ambientales, utilización espontánea de aprendizajes, adopción por nuevos grupos.	Meses después y, cuando sea viable, durante el siguiente año lectivo.
TRANSFERIBILIDAD	¿Qué partes de la experiencia pueden utilizarse en otros contextos?	Dependencia de recursos particulares, conocimientos docentes necesarios, adaptaciones realizadas, condiciones institucionales, características de la comunidad, elementos que podrían reproducirse o necesitar modificaciones.	Principalmente al finalizar y durante los seguimientos.
ESCALABILIDAD	¿Qué ocurre si intentamos aplicar la experiencia a una población mayor?	Carga docente, costos, infraestructura, coordinación entre asignaturas, disponibilidad de materiales, número de estudiantes, necesidad de formación adicional, cambios requeridos al ampliar la intervención.	Al finalizar la experiencia y antes de cualquier ampliación.

Nota: Esta matriz representa una estructura orientativa desarrollada por CERLI. Los indicadores, instrumentos, momentos de medición, y criterios de interpretación deberán definirse específicamente para cada proyecto. No todas las iniciativas requerirán medir todas las variables con la misma intensidad, y la ausencia de un indicador aplicable no implica que una dimensión carezca de relevancia.



Referentes internacionales

La educación ambiental difícilmente pueda desarrollarse de forma aislada. Muchos de los problemas que hemos recorrido en este informe atraviesan fronteras, disciplinas, instituciones, y sectores completos de la sociedad. Lo mismo ocurre con las posibles respuestas. La investigación científica puede ayudarnos a comprender un fenómeno, las organizaciones ambientales aportan experiencia sobre su intervención en el territorio, y los organismos educativos permiten transformar parte de ese conocimiento en herramientas capaces de llegar a estudiantes, docentes, y comunidades.

En CERLI entendemos las alianzas internacionales como una forma de ampliar esa conversación. Colaborar con organizaciones que trabajan desde perspectivas distintas nos permite contrastar ideas, incorporar conocimientos especializados, conocer experiencias desarrolladas en otros contextos, y acercar el mundo educativo a quienes estudian o enfrentan directamente los desafíos ambientales. Cada institución aporta capacidades diferentes, y justamente allí aparece el valor de construir redes que conecten educación, conservación, investigación, y medición de la sostenibilidad.

Las organizaciones que presentamos a continuación representan tres aproximaciones particularmente vinculadas con los temas desarrollados en estas páginas. UNESCO ocupa un lugar central en la construcción de marcos internacionales para la educación y el desarrollo sostenible; The Nature Conservancy trabaja directamente sobre conservación, biodiversidad, clima, y protección de ecosistemas; y Global Footprint Network ha contribuido a desarrollar herramientas

que permiten observar y comunicar la relación entre el consumo humano y la capacidad regenerativa del planeta.

Sus campos de trabajo son diferentes, pero comparten algo fundamental para nuestra perspectiva: convierten problemas ambientales extremadamente amplios en conocimiento, herramientas, experiencias, y metodologías que pueden utilizarse para comprender mejor la realidad. Para CERLI, construir vínculos de este tipo permite enriquecer nuestros propios proyectos y, al mismo tiempo, acercar al ámbito educativo conocimientos que muchas veces se desarrollan fuera de él. Las siguientes páginas presentan brevemente el trabajo de estas organizaciones y los puntos de encuentro que justifican su presencia dentro de este informe.



UNESCO

La Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura nació en uno de los momentos más delicados del siglo XX. Su Constitución fue aprobada en Londres el 16 de noviembre de 1945, pocos meses después del final de la Segunda Guerra Mundial, y entró en vigor el 4 de noviembre de 1946.



La idea que inspiró su creación era tan sencilla como ambiciosa. Aunque los acuerdos políticos y económicos podían detener temporalmente un conflicto, una paz duradera requería también cooperación intelectual, conocimiento compartido, educación, cultura, y comprensión entre sociedades. Esa convicción quedó plasmada desde el comienzo en la propia Constitución de la organización.

Desde entonces, UNESCO ha ampliado considerablemente su campo de acción. Actualmente reúne a 194 Estados Miembros y 12 Miembros Asociados, y desarrolla programas vinculados con educación, ciencias naturales y sociales, cultura, comunicación, patrimonio, libertad de expresión, acceso al conocimiento, y cooperación científica internacional. Su particularidad dentro del sistema de Naciones Unidas está precisamente en esa combinación: muchos de los desafíos sobre los que trabaja atraviesan simultáneamente la producción de conocimiento, su transmisión entre generaciones, y las condiciones culturales necesarias para que ese conocimiento pueda ser utilizado.

La sostenibilidad fue adquiriendo progresivamente un lugar central dentro de esta misión. UNESCO lideró la Década de las Naciones Unidas de la Educación para el Desarrollo Sostenible entre 2005 y 2014,

posteriormente coordinó el Programa de Acción Mundial, y actualmente conduce el marco Educación para el Desarrollo Sostenible para 2030. Como vimos anteriormente en este informe, este proceso busca incorporar la sostenibilidad dentro de políticas educativas, currículos, formación docente, instituciones, comunidades, y experiencias de aprendizaje, evitando que quede reducida a una temática aislada dentro de determinadas asignaturas.

En los últimos años, este trabajo se ha concentrado especialmente en preparar a los sistemas educativos frente al cambio climático. La Greening Education Partnership, impulsada por UNESCO desde 2022, organiza esa transformación alrededor de cuatro grandes áreas: instituciones educativas, currículos, formación docente y capacidades de los sistemas, y comunidades. Entre sus objetivos se encuentra que la educación climática pueda atravesar diferentes niveles y disciplinas, que las propias instituciones educativas adopten prácticas coherentes con aquello que enseñan, y que docentes y comunidades dispongan de mejores herramientas para trabajar sobre problemas ambientales cercanos.

Esta perspectiva ha generado herramientas particularmente relacionadas con varias de las ideas desarrolladas en estas páginas. En 2024, UNESCO publicó orientaciones para integrar el cambio climático dentro de los currículos y presentó por primera vez un estándar internacional para escuelas verdes, organizado alrededor de gobernanza institucional, infraestructura y funcionamiento, enseñanza y aprendizaje, y participación comunitaria. En lugar de concentrar toda la educación ambiental en una única actividad, la propuesta busca que la sostenibilidad pueda aparecer también en la manera en que una institución funciona diariamente.

Para CERLI, el trabajo de UNESCO resulta especialmente relevante porque conecta dos mundos que con demasiada frecuencia avanzan por separado. Por un lado, existe una enorme producción científica sobre cambio climático, biodiversidad, consumo, recursos, y sostenibilidad. Por otro, existen sistemas educativos que necesitan transformar parte de ese conocimiento en experiencias comprensibles y aplicables para

millones de estudiantes. Buena parte del desafío que hemos recorrido en este informe se encuentra justamente en ese puente: decidir qué debemos enseñar, cómo hacerlo, y cómo conseguir que aquello aprendido mantenga algún valor cuando el estudiante abandona el aula.



The Nature Conservancy

The Nature Conservancy, conocida habitualmente por sus siglas TNC, es una organización internacional sin fines de lucro, con un enfoque especial en la protección del medio ambiente y, como su nombre lo indica, en la conservación de la naturaleza global. Sus raíces se basan en el desarrollo de la ecología como disciplina científica.



En 1917, un grupo de integrantes de la Ecological Society of America creó el Committee on Preservation of Natural Areas for Ecological Study, impulsado por científicos interesados en conservar espacios naturales que también permitieran estudiar ecosistemas poco alterados. Tras la disolución de aquel comité, varios de sus integrantes formaron en 1946 la Ecologists Union, que pocos años después evolucionaría hasta convertirse formalmente en The Nature Conservancy. La organización fue constituida como entidad sin fines de lucro en 1951.

Sus primeros años estuvieron profundamente vinculados con la protección directa de tierras. En 1955 concretó su primera adquisición, Mianus River Gorge, un bosque de aproximadamente 24 hectáreas en Nueva York cuya conservación requirió combinar aportes comunitarios con financiación propia. Durante las décadas siguientes, ese modelo inicial fue ampliándose hacia alianzas con organismos públicos, propietarios, comunidades, empresas, científicos, y organizaciones locales. Con el tiempo, TNC pasó de concentrarse fundamentalmente en

la adquisición y protección de áreas naturales dentro de Estados Unidos a desarrollar programas de conservación en múltiples continentes.

Actualmente, la organización impulsa su misión de conservar las tierras y las aguas de las que depende toda la vida. Su trabajo alcanza 83 países y territorios, ya sea mediante proyectos de conservación directa o a través de alianzas y participación en políticas públicas, y cuenta con más de mil científicos dentro de su estructura internacional. Su enfoque combina investigación científica, conservación territorial, financiación, políticas públicas, restauración ecológica, y colaboración con comunidades locales e indígenas. TNC presenta actualmente el cambio climático y la pérdida acelerada de biodiversidad como los dos grandes desafíos interconectados alrededor de los cuales organiza buena parte de su estrategia.

Esa estrategia se traduce en objetivos de escala considerable para 2030. Entre ellos se encuentran contribuir a conservar 650 millones de hectáreas de tierras, un millón de kilómetros de ríos, 30 millones de hectáreas de lagos y humedales, y cuatro mil millones de hectáreas de océano. La organización también plantea reducir o almacenar el equivalente a tres mil millones de toneladas de dióxido de carbono por año, apoyar a cien millones de personas expuestas a riesgos climáticos severos, y trabajar junto a decenas de millones de personas cuya subsistencia depende directamente de ecosistemas saludables. Estas cifras funcionan como metas propias de TNC y reflejan la escala con la que intenta combinar conservación, clima, y bienestar humano.

En América Latina, ese trabajo adquiere una relevancia particular por la concentración regional de biodiversidad, recursos hídricos, bosques, sistemas productivos, y ecosistemas altamente sensibles. TNC desarrolla actividades en países como Argentina, Brasil, Chile, Colombia, Ecuador, México, Perú, Guatemala, y Belice, con proyectos relacionados con la Amazonia, la Patagonia, cuencas hidrográficas, restauración, producción sostenible, ríos, y conservación de grandes paisajes. La región ofrece además un ejemplo especialmente claro de uno de los principios que atraviesan su trabajo actual: conservar un ecosistema requiere comprender también a las comunidades que viven de él, las

actividades productivas que lo transforman, y las instituciones que determinan cómo puede utilizarse.

Su presencia dentro de este informe resulta especialmente pertinente por esa combinación entre conocimiento científico y aplicación territorial. Cuando analizamos biodiversidad, bosques, océanos, agua dulce, restauración, o protección de ecosistemas, corremos el riesgo de que conceptos enormes terminen pareciendo abstracciones difíciles de conectar con decisiones concretas. El trabajo de organizaciones como TNC permite observar la otra mitad del problema: qué ocurre cuando esos principios deben convertirse en conservación real, con recursos limitados, intereses diferentes, comunidades involucradas, y ecosistemas que rara vez responden de manera sencilla a una única intervención.

Para CERLI, esa experiencia resulta especialmente valiosa desde la educación. Un ecosistema protegido, un río restaurado, una cuenca gestionada, o un proyecto de conservación comunitaria pueden convertirse en algo más que ejemplos de buenas prácticas ambientales. También funcionan como escenarios donde estudiantes y docentes pueden observar cómo interactúan ciencia, economía, comportamiento humano, política pública, territorio, y cultura. En ese punto, la conservación deja de ser únicamente aquello que intentamos proteger y se transforma también en una oportunidad para aprender cómo se toman decisiones frente a problemas ambientales reales.

Global Footprint Network

Global Footprint Network es una organización benéfica sin fines de lucro, fundada en 2003 por Mathis Wackernagel y Susan Burns. Su objetivo es transmitir los límites ecológicos medibles para que gobiernos, organizaciones, empresas, y ciudadanos puedan tomar acciones sostenibles informadamente.



A comienzos de la década de 1990, Wackernagel y William Rees desarrollaron en la Universidad de Columbia Británica el concepto de Huella Ecológica, inicialmente como parte de la investigación doctoral del primero. Con el tiempo, aquella metodología pasó de ser una herramienta académica para convertirse en una de las formas más reconocibles de representar la presión humana sobre los recursos naturales.

Su lógica parte de comparar dos magnitudes. Por un lado, la “Huella Ecológica” estima la demanda que una población ejerce sobre superficies biológicamente productivas, principalmente mediante alimentos, fibras, productos forestales, pesca, infraestructura, y la superficie necesaria para absorber determinadas emisiones de dióxido de carbono. Por el otro, la “biocapacidad” representa la capacidad de los ecosistemas para regenerar recursos y prestar esos servicios. Ambas variables se expresan en hectáreas globales, una unidad estandarizada que permite realizar comparaciones entre territorios con productividades diferentes.

La comparación permite identificar una situación de déficit ecológico cuando la demanda supera la biocapacidad disponible. A escala nacional, esa diferencia puede compensarse mediante importaciones, explotación de existencias ecológicas propias, o emisiones de carbono que exceden la capacidad local de absorción. A escala planetaria la situación cambia, porque la Tierra no puede importar recursos desde otro territorio. Cuando la Huella Ecológica global supera la biocapacidad mundial, Global Footprint Network utiliza el término sobregiro ecológico para describir esa diferencia.

Una de las expresiones más conocidas de este trabajo es el Día del Sobregiro de la Tierra. La iniciativa comenzó como una colaboración con la New Economics Foundation en 2006 y transforma la relación entre Huella Ecológica y biocapacidad en una fecha del calendario: el día exacto en que la demanda acumulada de la humanidad supera aquello que los ecosistemas pueden regenerar durante todo ese año. En 2026, la organización calculó esta fecha para el 30 de julio. Para poner en contexto esta fecha, el Día del Sobregiro ocurrió el 23 de septiembre en 2000, el 15 de agosto en 2010, el 18 de agosto en 2020, y el 1 de agosto en 2025 ¹³.

Junto con la nueva edición de 2026, también se estimó que la humanidad utiliza recursos y servicios ecológicos aproximadamente un 73 % más rápido de lo que el planeta puede regenerarlos, lo que equivale a una demanda de alrededor de 1,73 Tierras. De hecho, esta última aclaración resulta particularmente importante para la educación ambiental. Una cifra tan intuitiva como “1,73 planetas” posee una enorme capacidad para comunicar un problema complejo, pero su valor educativo aumenta cuando también comprendemos qué mide, cómo fue calculada, qué supuestos utiliza, y cuáles son sus límites.

¹³ Global Footprint Network recalcula las fechas históricas del Día del Sobregiro de la Tierra al actualizar sus Cuentas Nacionales de Huella y Biocapacidad, por lo que las fechas publicadas originalmente en años anteriores pueden diferir de la serie histórica más reciente. Aunque para 2025 se había anunciado inicialmente el 24 de julio, la edición de 2026 recalculó esa fecha como el 1 de agosto. Con la metodología y los datos de esta última edición, el 30 de julio de 2026 representa el mayor nivel de sobregiro ecológico registrado.

La Huella Ecológica tampoco pretende reunir cada dimensión posible del impacto ambiental en un único indicador. Su fortaleza está en ofrecer una contabilidad concreta de determinadas demandas humanas frente a la capacidad regenerativa disponible, que luego puede complementarse con información sobre biodiversidad, contaminación, agua, clima, y otros procesos ambientales.

Para CERLI, este enfoque conecta directamente con uno de los principios que hemos defendido a lo largo del informe: aprender sostenibilidad también implica aprender a medirla. Conceptos como consumo, recursos disponibles, capacidad de regeneración, déficit ecológico, y presión ambiental pueden convertirse en problemas de investigación donde los estudiantes necesiten trabajar con datos reales, comparar territorios, cuestionar indicadores, y discutir qué información queda fuera de cada medición.

En ese sentido, Global Footprint Network aporta algo especialmente valioso para la educación: una forma de transformar los límites ecológicos del planeta en preguntas que pueden observarse, calcularse, analizarse, y discutirse dentro y fuera del aula.

Epílogo

Al comenzar este informe, partimos de una idea aparentemente sencilla: si queremos educar para un futuro sostenible, primero necesitamos comprender qué significa realmente la sostenibilidad. A medida que avanzamos, esa pregunta fue revelando una realidad bastante más compleja. El cambio climático, los residuos, el consumo de recursos, la pérdida de biodiversidad, y la transformación de los ecosistemas están conectados entre sí, pero cada uno posee mecanismos, escalas, incertidumbres, y posibles soluciones diferentes. Intentar reducir todos estos desafíos a una única consigna termina empobreciendo aquello que pretendemos enseñar.

También descubrimos que la evidencia ambiental exige cierto esfuerzo de interpretación. Una cifra puede ser correcta y, aun así, resultar engañosa cuando se presenta sin contexto. Una campaña puede partir de una preocupación legítima y utilizar argumentos débiles para defenderla. Dos personas pueden reconocer exactamente el mismo problema y discrepar razonablemente sobre qué solución merece prioridad. Para CERLI, esta complejidad no representa un obstáculo para la educación ambiental. Al contrario, constituye una de sus mayores oportunidades educativas, porque obliga a enseñar cómo investigar, comparar, cuestionar, y construir conclusiones a partir de información que rara vez llega perfectamente ordenada.

Por eso, el objetivo que proponemos para la educación ambiental supera ampliamente la transmisión de una lista de hábitos deseables. Queremos que los estudiantes comprendan por qué existen determinadas recomendaciones, qué evidencias las respaldan, qué limitaciones poseen, y cómo cambian cuando las trasladamos de un contexto a otro. Separar residuos, reducir ciertos consumos, proteger un

ecosistema, o modificar la forma en que utilizamos el agua adquiere un valor educativo mucho mayor cuando el estudiante puede explicar qué problema intenta resolver y evaluar si su propia intervención consiguió producir alguna diferencia.

Esta perspectiva también modifica el lugar que ocupa el estudiante. Frente a problemas ambientales de escala planetaria, resulta sencillo transmitir una sensación de pequeñez e impotencia. Un proyecto educativo puede hacer exactamente lo contrario: ofrecer un espacio suficientemente próximo como para investigar, equivocarse, corregir, medir resultados, y descubrir qué parte de un problema puede modificarse mediante acciones propias y colectivas. La escuela, su barrio, un curso de agua cercano, el consumo energético del edificio, o los residuos producidos diariamente pueden transformarse en pequeños laboratorios donde aprender a intervenir sobre una realidad que antes parecía distante.

Los modelos propuestos en estas páginas parten de esa posibilidad. Participación activa, transversalidad, vínculo con problemas reales, autonomía gradual, evaluación continua, y seguimiento posterior forman un conjunto que deberá adaptarse a cada institución. Ninguna metodología garantizará por sí misma que un estudiante adopte determinados comportamientos durante el resto de su vida. Podemos, sin embargo, diseñar experiencias que aumenten las oportunidades de comprender profundamente un problema, utilizar conocimientos provenientes de distintas áreas, contrastar ideas con evidencia, y desarrollar herramientas que puedan volver a utilizarse cuando aparezcan nuevos desafíos.

Por la misma razón, evaluar estas iniciativas requerirá algo más que observar un resultado atractivo al finalizar el año. Habrá que preguntarse qué se implementó realmente, qué aprendieron los estudiantes, qué cambió dentro de la institución, cuánto de ese cambio permaneció, y qué elementos podrían trasladarse a experiencias futuras. Algunos proyectos funcionarán mejor que otros. Otros deberán ser modificados, abandonados, o reconstruidos después de descubrir que nuestras hipótesis iniciales eran incorrectas. Esa capacidad de

aprender también de aquello que falla forma parte del modelo que proponemos.

Y ninguna institución tendrá que recorrer este camino completamente sola. A lo largo de este informe vimos cómo organismos internacionales, organizaciones ambientales, investigadores, comunidades, docentes, y estudiantes aportan perspectivas diferentes sobre un mismo desafío. Las alianzas permiten acercar esos mundos, compartir experiencias, acceder a conocimiento especializado, y evitar que cada nueva iniciativa tenga que comenzar nuevamente desde el primer paso. Para CERLI, esa cooperación será una parte fundamental de cualquier esfuerzo serio por construir una educación ambiental capaz de aprender también de quienes ya llevan décadas trabajando sobre estos problemas.

Quizá esa sea finalmente la idea más importante que podamos dejar en estas páginas. El futuro sostenible del que tanto hablamos todavía está siendo construido, y buena parte de quienes deberán tomar decisiones sobre él hoy se encuentran dentro de un aula. Nuestra responsabilidad educativa consiste en ofrecerles algo más valioso que respuestas prefabricadas: conocimiento suficientemente sólido para comprender lo que ocurre, criterio para distinguir evidencia de exageración, libertad para formular sus propias preguntas, y herramientas para transformar algunas de sus conclusiones en acciones reales.

Porque educar para la sostenibilidad significa preparar a una generación para comprender un mundo que todavía estamos aprendiendo a cuidar.

Bibliografía

1. Armstrong McKay, D. I., Staal, A., Abrams, J. F., Winkelmann, R., Sakschewski, B., Loriani, S., Fetzer, I., Cornell, S. E., Rockström, J., & Lenton, T. M. (2022). Exceeding 1.5°C global warming could trigger multiple climate tipping points. *Science*, 377(6611), eabn7950. <https://doi.org/10.1126/science.abn7950> PubMed
2. Asamblea General de las Naciones Unidas. (2002). Decenio de las Naciones Unidas de la Educación para el Desarrollo Sostenible (Resolución A/RES/57/254).
3. Asamblea General de las Naciones Unidas. (2015). Transformar nuestro mundo: La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible (Resolución A/RES/70/1). <https://sdgs.un.org/es/2030agenda> Department of Economic and Social Affairs
4. Baker, J. A., Bell, M. J., Jackson, L. C., Vallis, G. K., Watson, A. J., & Wood, R. A. (2025). Continued Atlantic overturning circulation even under climate extremes. *Nature*, 638, 987–994. <https://doi.org/10.1038/s41586-024-08544-0> PubMed
5. Baldé, C. P., Kuehr, R., Yamamoto, T., McDonald, R., D'Angelo, E., Althaf, S., Bel, G., Deubzer, O., Fernandez-Cubillo, E., Forti, V., Gray, V., Herat, S., Honda, S., Iattoni, G., Khatriwal, D. S., Luda di Cortemiglia, V., Lobuntsova, Y., Nnorom, I., Pralat, N., & Wagner, M. (2024). The global e-waste monitor 2024. International Telecommunication Union; United Nations Institute for Training and Research. https://www.itu.int/pub/D-GEN-E_WASTE.01-2024 ewastemonitor.info

6. Bandura, A. (1977). Self-efficacy: Toward a unifying theory of behavioral change. *Psychological Review*, 84(2), 191–215. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.84.2.191> verdi.cs.ucl.ac.uk
7. Black, P., & Wiliam, D. (1998). Assessment and classroom learning. *Assessment in Education: Principles, Policy & Practice*, 5(1), 7–74. <https://doi.org/10.1080/0969595980050102> tandfonline.com
8. Broek, S., & Kaur, A. (2026). Mid-term evaluation of the ESD for 2030 framework, 2021–2024. UNESCO. <https://www.unesco.org/en/articles/mid-term-evaluation-esd-2030-framework-2021-2024> UNESCO
9. Bunge, A. C., Mazac, R., Clark, M., Wood, A., & Gordon, L. (2024). Sustainability benefits of transitioning from current diets to plant-based alternatives or whole-food diets in Sweden. *Nature Communications*, 15, Article 951. <https://doi.org/10.1038/s41467-024-45328-6> Nature Communications
10. Carroll, C., Patterson, M., Wood, S., Booth, A., Rick, J., & Balain, S. (2007). A conceptual framework for implementation fidelity. *Implementation Science*, 2, Article 40. <https://doi.org/10.1186/1748-5908-2-40> Springer Nature Link
11. Chiba, M., Sustarsic, M., Perriton, S., & Edwards, D. B., Jr. (2021). Investigating effective teaching and learning for sustainable development and global citizenship: Implications from a systematic review of the literature. *International Journal of Educational Development*, 81, Article 102337. <https://doi.org/10.1016/j.ijedudev.2020.102337> ScienceDirect
12. Consejo de la Unión Europea. (s. f.). Derecho a reparar productos. <https://www.consilium.europa.eu/es/policies/right-to-repair-products/> Consilium
13. Consejo de la Unión Europea. (2024, 30 de mayo). Economía circular: El Consejo da su aprobación definitiva a la Directiva sobre el Derecho a Reparar.

- 14.** Conteh, Y. A., & Miller, L. C. (2026). The impact of fear appeals on individuals' climate change attitudes and behaviors: A meta-analysis. *Journal of Environmental Psychology*, 113, Article 103110. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2026.103110> ScienceDirect
- 15.** Crippa, M., Guizzardi, D., Pagani, F., Banja, M., Muntean, M., Schaaf, E., Monforti-Ferrario, F., Becker, W., Quadrelli, R., Risquez Martin, A., Taghavi-Moharamli, P., Köykkä, J., Grassi, G., Rossi, S., Melo, J., Oom, D., Branco, A., San-Miguel, J., Manca, G., ... Pekar, F. (2024). GHG emissions of all world countries. Publications Office of the European Union. <https://doi.org/10.2760/4002897> edgar.jrc.ec.europa.eu
- 16.** Empresa de Pesquisa Energética. (2024). Balanço energético nacional 2024: Ano base 2023. <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2024> epe.gov.br
- 17.** European Commission. (s. f.). Sustainable hunting under the Birds Directive. https://environment.ec.europa.eu/topics/nature-and-biodiversity/birds-directive/sustainable-hunting-under-birds-directive_en Environment
- 18.** Flores, B. M., Montoya, E., Sakschewski, B., Nascimento, N., Staal, A., Betts, R. A., Levis, C., Lapola, D. M., Esquivel-Muelbert, A., Jakovac, C., Nobre, C. A., Oliveira, R. S., Borma, L. S., Nian, D., Boers, N., Hecht, S. B., ter Steege, H., Arieira, J., Lucas, I. L., ... Hirota, M. (2024). Critical transitions in the Amazon forest system. *Nature*, 626, 555–564. <https://doi.org/10.1038/s41586-023-06970-0> PubMed
- 19.** Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2020). Global forest resources assessment 2020: Main report. <https://www.fao.org/forest-resources-assessment/past-assessments/fra-2020/> fao.org
- 20.** Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2022). FRA 2020 remote sensing survey. <https://www.fao.org/forest-resources-assessment/remote-sensing/remote-sensing-survey/en> fao.org

- 21.** Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2023a). Methane emissions in livestock and rice systems: Sources, quantification, mitigation and metrics. <https://openknowledge.fao.org/3/cc7607en/cc7607en.pdf> fao.org
- 22.** Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2023b). The world's mangroves 2000–2020. <https://www.fao.org/interactive/remote-sensing-mangroves/en/> fao.org
- 23.** Freeman, S., Eddy, S. L., McDonough, M., Smith, M. K., Okoroafor, N., Jordt, H., & Wenderoth, M. P. (2014). Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(23), 8410–8415. <https://doi.org/10.1073/pnas.1319030111> PMC
- 24.** Genc, M. (2015). The project-based learning approach in environmental education. *International Research in Geographical and Environmental Education*, 24(2), 105–117. <https://doi.org/10.1080/10382046.2014.993169> tandfonline.com
- 25.** Global Footprint Network. (s. f.-a). Ecological footprint. <https://footprintnetwork.org/our-work/ecological-footprint/> Global Footprint Network
- 26.** Global Footprint Network. (s. f.-b). Our history. <https://footprintnetwork.org/about-us/our-history/> Global Footprint Network
- 27.** Global Footprint Network. (s. f.-c). Past Earth Overshoot Days. Recuperado el 25 de septiembre de 2026 de <https://overshoot.footprintnetwork.org/newsroom/past-earth-overshoot-days/> Global Footprint Network
- 28.** Global Footprint Network. (2026, 30 de julio). Earth Overshoot Day 2026 falls on July 30. <https://overshoot.footprintnetwork.org/newsroom/eod-2026-en/> overshoot.footprintnetwork.org

- 29.** Intergovernmental Panel on Climate Change. (2021). Climate change 2021: The physical science basis. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157896> ipcc.ch
- 30.** Intergovernmental Panel on Climate Change. (2023). Climate change 2023: Synthesis report. <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647> apps.ipcc.ch
- 31.** Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. (2016). The assessment report on pollinators, pollination and food production (S. G. Potts, V. L. Imperatriz-Fonseca, & H. T. Ngo, Eds.). <https://zenodo.org/records/3402857> Zenodo
- 32.** International Energy Agency. (2024). Global EV outlook 2024. <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2024> IEA
- 33.** International Energy Agency. (2025). Global EV outlook 2025. <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2025> IEA
- 34.** International Union for Conservation of Nature. (2000). IUCN policy statement on sustainable use of wild living resources. <https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/Rep-2000-054.pdf> portals.iucn.org
- 35.** Kaza, S., Yao, L., Bhada-Tata, P., & Van Woerden, F. (2018). What a waste 2.0: A global snapshot of solid waste management to 2050. World Bank. <https://documents.worldbank.org/curated/en/697271544470229584/pdf/132827-PUB-9781464813290.pdf> documents.worldbank.org
- 36.** Kolb, D. A. (1984). Experiential learning: Experience as the source of learning and development. Prentice-Hall. WorldCat.org
- 37.** Lave, J., & Wenger, E. (1991). Situated learning: Legitimate peripheral participation. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511815355> Cambridge Aspire website

- 38.** Mekonnen, M. M., & Hoekstra, A. Y. (2012). A global assessment of the water footprint of farm animal products. *Ecosystems*, 15(3), 401–415. <https://doi.org/10.1007/s10021-011-9517-8> Springer Nature Link
- 39.** Miao, F., & Holmes, W. (2023). Guidance for generative AI in education and research. UNESCO. <https://www.unesco.org/en/articles/guidance-generative-ai-education-and-research> UNESCO
- 40.** Ministerio de Industria, Energía y Minería. (2024). Balance energético nacional 2023.
- 41.** National Oceanic and Atmospheric Administration, Global Monitoring Laboratory. (2025). The NOAA annual greenhouse gas index (AGGI). <https://gml.noaa.gov/aggi/aggi.html> NOAA Global Monitoring Laboratory
- 42.** National Park Service. (s. f.-a). History of wolf management. <https://www.nps.gov/yell/learn/historyculture/wolf-management.htm> nps.gov
- 43.** National Park Service. (s. f.-b). Wolf ecology. <https://www.nps.gov/yell/learn/nature/wolf.htm> nps.gov
- 44.** Organisation for Economic Co-operation and Development. (2022). Global plastics outlook: Economic drivers, environmental impacts and policy options. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/de747aef-en> OECD
- 45.** Organización de Estados Iberoamericanos para la Educación, la Ciencia y la Cultura. (2025). Alianzas para la esperanza activa: Educación ante el cambio climático con impacto en Iberoamérica.
- 46.** Piaget, J. (1970). Science of education and the psychology of the child (D. Coltman, Trad.). Orion Press. (Trabajo original publicado en 1969). catalog.library.tamu.edu

- 47.** Poore, J., & Nemecek, T. (2018). Reducing food's environmental impacts through producers and consumers. *Science*, 360(6392), 987–992. <https://doi.org/10.1126/science.aag0216> PubMed
- 48.** Réseau de Transport d'Électricité. (2024). Bilan électrique 2023. <https://analysesetdonnees.rte-france.com/bilan-electrique-2023/production RTE>
- 49.** Sabarwal, S., Venegas Marin, S., Spivack, M., & Ambasz, D. (2024). Choosing our future: Education for climate action. World Bank. <https://documents1.worldbank.org/curated/en/099082624160037461/pdf/P180005183528c03c1802a1896a79b744ea.pdf>
documents1.worldbank.org
- 50.** Secretariat of the Basel Convention. (s. f.). Illegal traffic: Overview. <https://www.basel.int/implementation/legalmatters/illegaltraffic/overview/tabid/3421/default.aspx> basel.int
- 51.** Storoszczuk Durán, M. (2024). Educación en situaciones de emergencia; catástrofes y refugiados. *The Orvium Education Journal*. <https://www.researchgate.net/publication/387344937> researchgate.net
- 52.** TAGMA. (s. f.-a). Red de escuelas y aulas sustentables. Recuperado el 25 de septiembre de 2026 de <https://somostagma.com/> Educación, Comunidad y Sostenibilidad
- 53.** TAGMA. (s. f.-b). Una escuela sustentable en Uruguay: Jaureguiberry. <https://somostagma.com/una-escuela-sustentable-uruguay/Jaureguiberry – TAGMA>
- 54.** The Nature Conservancy. (s. f.-a). Our history. <https://www.nature.org/en-us/about-us/who-we-are/our-history/> The Nature Conservancy
- 55.** The Nature Conservancy. (s. f.-b). The Nature Conservancy's 2030 goals. <https://www.nature.org/en-us/what-we-do/> nature.org

- 56.** The Nature Conservancy. (s. f.-c). Who we are. Recuperado el 25 de septiembre de 2026 de <https://www.nature.org/en-us/about-us/who-we-are/> The Nature Conservancy
- 57.** UNESCO. (2017). Education for Sustainable Development Goals: Learning objectives. https://doi.org/10.54675/CGBA9153_247444eng.pdf
- 58.** UNESCO. (2020). Education for sustainable development: A roadmap. <https://www.unesco.org/en/articles/education-sustainable-development-roadmap> UNESCO
- 59.** UNESCO. (2024a). Global education monitoring report 2024/5: Leadership in education—Lead for learning. <https://www.unesco.org/reports/gem-report/en/2024> Global Education Monitoring Report - Reports
- 60.** UNESCO. (2024b). Green school quality standard: Greening every learning environment. <https://www.unesco.org/en/articles/green-school-quality-standard-greening-every-learning-environment> unesco.org
- 61.** UNESCO. (2024c). Greening curriculum guidance: Teaching and learning for climate action. <https://doi.org/10.54675/AOOZ1758> unesdoc.unesco.org
- 62.** United Nations Children’s Fund. (2025). Learning interrupted: Global snapshot of climate-related school disruptions in 2024. <https://www.unicef.org/reports/learning-interrupted-global-snapshot-2024> UNICEF
- 63.** United Nations Environment Programme. (s. f.). Red de Formación Ambiental para América Latina y el Caribe. <https://www.unep.org/es/red-de-formacion-ambiental-para-america-latina-y-el-caribe> UNEP - UN Environment Programme
- 64.** United Nations Environment Programme. (2019). Dark skies, bright future: Overcoming Nigeria’s e-waste epidemic.

<https://www.unep.org/news-and-stories/story/dark-skies-bright-future-overcoming-nigerias-e-waste-epidemic> unep.org

- 65.** United Nations Environment Programme. (2022). Global peatlands assessment: The state of the world's peatlands. <https://globalpeatlands.org/resource-library/global-peatlands-assessment-state-worlds-peatlands-main-report> Global Peatlands Initiative
- 66.** United Nations Environment Programme. (2024). Eight ways to overcome the waste pollution crisis. <https://www.unep.org/news-and-stories/story/eight-ways-overcome-waste-pollution-crisis> UNEP
- 67.** United Nations Environment Programme, & International Solid Waste Association. (2024). Global waste management outlook 2024: Beyond an age of waste—Turning rubbish into a resource. United Nations Environment Programme. <https://doi.org/10.59117/20.500.11822/44939> Turning Rubbish into a Resource
- 68.** United Nations Framework Convention on Climate Change. (s. f.). The Paris Agreement. Recuperado el 25 de septiembre de 2026 de <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement> UNFCCC
- 69.** United Nations High Commissioner for Refugees. (2026, 3 de julio). UNHCR warns Lake Chad Basin at tipping point as violence and displacement surge. <https://www.unhcr.org/us/news/briefing-notes/unhcr-warns-lake-chad-basin-tipping-point-violence-and-displacement-surge> UNHCR US
- 70.** U.S. Environmental Protection Agency. (s. f.). Basic information about landfill gas. <https://www.epa.gov/lmop/basic-information-about-landfill-gas> US EPA
- 71.** U.S. Fish and Wildlife Service. (s. f.). Hunting on wildlife refuges 101: Frequently asked questions. <https://www.fws.gov/story/hunting-wildlife-refuges-101-frequently-asked-questions> U.S. Fish & Wildlife Service

- 72.** U.S. Geological Survey. (2018, 6 de junio). Where is Earth's water? <https://www.usgs.gov/water-science-school/science/where-earths-water>
U.S. Geological Survey
- 73.** van de Wetering, J., Leijten, P., Spitzer, J. E., & Thomaes, S. (2022). Does environmental education benefit environmental outcomes in children and adolescents? A meta-analysis. *Journal of Environmental Psychology*, 81, Article 101782. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2022.101782> research-portal.uu.nl
- 74.** Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes* (M. Cole, V. John-Steiner, S. Scribner, & E. Souberman, Eds.). Harvard University Press. Discover
- 75.** World Bank. (2022). The climate change and conflict nexus in West Africa: A new approach for operationally relevant vulnerability assessments. <https://documents1.worldbank.org/curated/en/099184003162387055/pdf/P1729410b3a8dd05909a1006b5887fa5d0d.pdf>
documents1.worldbank.org
- 76.** World Health Organization. (2021). Children and digital dumpsites: E-waste exposure and child health. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240023901> who.int
- 77.** World Health Organization. (2022). Dietary and inhalation exposure to nano- and microplastic particles and potential implications for human health. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240054608> who.int
- 78.** World Meteorological Organization. (2025). WMO global annual to decadal climate update (2025–2029). <https://wmo.int/resources/publication-series/wmo-global-annual-decadal-climate-update/wmo-global-annual-decadal-climate-update-2025-2029> wmo.int
- 79.** Wunderling, N., Sakschewski, B., Rockström, J., Flores, B. M., Hirota, M., & Staal, A. (2026). Deforestation-induced drying lowers Amazon climate

threshold. *Nature*, 654, 114–120. <https://doi.org/10.1038/s41586-026-10456-0> PubMed

- 80.** Zhang, L., & Ma, Y. (2023). A study of the impact of project-based learning on student learning effects: A meta-analysis study. *Frontiers in Psychology*, 14, Article 1202728. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2023.1202728>

